msr 6

messen · steuern · regeln

externe Störquellen

Versorgung

Automomati - sierungsgerät

interne Störquellen

E

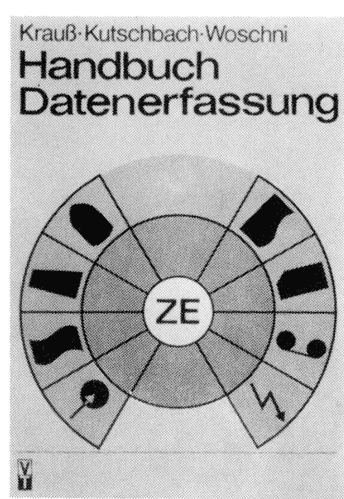
A

elektro - magnetische Umwelt


VT
VEB
Verlag Technik
Berlin
Juni 1984
EVP: 4,-M

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN — Neuerscheinungen und Neuauflagen

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

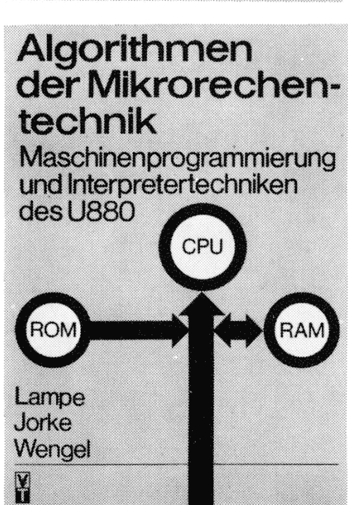


Handbuch Datenerfassung

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Krauß, Doz. Dr.-Ing. Ernst Kutschbach und Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Eugen-Georg Woschni.

1. Auflage. 380 Seiten, 248 Bilder, 72 Tafeln,
Leinen, 39,— M, Ausland 52,— M.
Bestellangaben: 553 3441/Krauß, Datenerfassung

Das Handbuch behandelt alle wesentlichen Aspekte der Datenerfassung einschließlich der damit zusammenhängenden Verarbeitungsaufgaben. Im Mittelpunkt der Ausführungen stehen Organisation, Technik und Anwendung. Besonderer Wert wurde auf die Einbeziehung der Mikroelektronik und vor allem der Mikrorechentechnik gelegt.



Algorithmen der Mikrorechentechnik

Maschinenprogrammierung und Interpretertechniken des U880

Von Dr. rer. nat. Bernhard Lampe, Dr.-Ing. Günter Jorke und Dr.-Ing. Norbert Wengel.

2., durchgesehene Auflage. 364 Seiten, 230 Bilder, 2 Tafeln, Leinen, 37,50 M.
Bestellangaben: 553 2246/Lampe, Mikrorechentechnik.

Prozeßrechentechnik

Automatisierte Systeme mit Prozeß- und Mikroprozeßrechnern

Von Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Fritzsch.

2., stark bearbeitete Auflage. 364 Seiten, 205 Bilder, 38 Tafeln,
Leinen, 28,— M, Ausland 40,— M.
Bestellangaben: 553 3425/Fritzsch, Prozeß

Diese Auflage berücksichtigt sowohl den gerätetechnischen Generationswechsel bei Mikrorechnern als auch die erweiterte Anwendung auf den verschiedensten Gebieten.



Physikalische Modellierung elektromagnetischer Felder und Prozesse in elektrischen Maschinen

Von Prof. Dr. d. techn. Wiss. A. V. Ivanov-Smolenskij und Dr.-Ing. Joachim Meye.

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. Germar Müller.
1. Auflage. 128 Seiten, 64 Bilder, 11 Tafeln, Broschur, 17,50 M.
Bestellangaben: 553 211 5/Ivanov, Maschinen

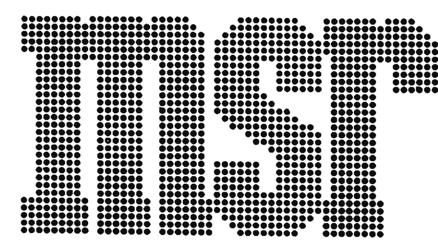
Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. Anhand praktischer Beispiele wird die Nutzung der Methoden zur Berechnung, Konstruktion, Untersuchung sowie für Versuche an elektrischen Maschinen dargestellt.

Bereits lieferbar in zweiter, bearbeiteter Auflage

Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme

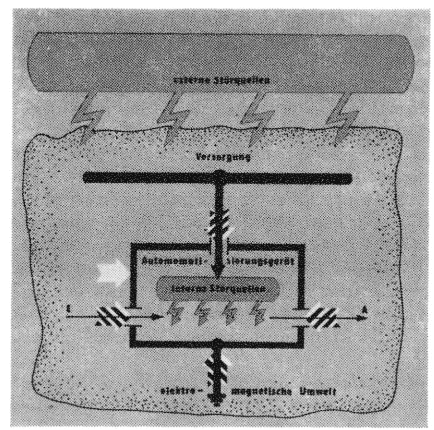
Von Prof. Dr. sc. techn. Karl Reinisch. 420 Seiten, 266 Bilder, 21 Tafeln, Leinen, 32,— M, Ausland 44,— M. Bestellangaben: 553 107 5/Reinisch, Kont. Steuerung

Die Bearbeitung betrifft besonders die Stabilisier- und Erkennbarkeit und einige Ergebnisse zur synthetischen Störaufschaltung und -unterdrückung. Neu aufgenommen wurde auch ein Überblick über Verfahren zum Entwurf dezentraler Regelungen.



messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Automatisierungsanlagen unterliegen vielfältigen Beeinflussungen durch ihre Umgebung. Bedingt durch das fortschreitend sich verringernde Energieniveau bei den informationsverarbeitenden Einrichtungen und das sich zunehmend verschärfende Störklima in den industriellen Anlagen steht die Fachdisziplin „Elektromagnetische Verträglichkeit" (EMV) vor der Aufgabe, effektive Lösungswege für die Beherrschung dieser Problematik bereitzustellen. Im Beitrag auf S. 242 wird eine Übersicht über dieses vielschichtige Arbeitsgebiet gegeben.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT



27. Jahrgang
Juni 1984

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

E. Habiger[1])

Elektromagnetische Verträglichkeit in der Automatisierungstechnik – eine Übersicht

0. Einleitung

Automatisierungsgeräte sind dafür vorgesehen, an einem bestimmten Einsatzort unter gegebenen Einsatzbedingungen innerhalb eines angemessenen Zeitraums eine beabsichtigte Funktion

$$\boldsymbol{a} = f(\boldsymbol{e}) \quad (1)$$

zu realisieren (Bild 1). Sie sind am Einsatzort stets bestimmten Umwelteinflüssen ausgesetzt (Einsatzbeanspruchungen $\boldsymbol{z}$) und üben selbst Wirkungen auf die Umgebung aus (Nebenwirkungen $\boldsymbol{n}$).

Die Eignung für bestimmte Einsatzbedingungen wird bei Automatisierungsgeräten durch die Zuordnung zu einer Ausführungsklasse gemäß TGL 9200/01 oder einer Einsatzklasse entsprechend TGL 9200/03, durch die Kennzeichnung mit einem Schutzgrad nach TGL 15165/03, durch die Angabe einer Betriebsart sowie durch die Nominierung zulässiger Toleranzbereiche für die Hilfsenergieparameter (Spannung, Frequenz), z. B. nach TGL 36172, ausgewiesen.

Damit durch die Nebenwirkungen die Umgebung nicht unzulässig belastet wird bzw. Gefährdungen vermieden werden, müssen Automatisierungsmittel darüber hinaus einer Reihe von Forderungen entsprechen, z. B. den technischen Forderungen an Geräte der elektrischen Nachrichtentechnik entsprechend TGL 200-0044, einer Schutzart nach TGL 19491, einer Schutzmaßnahme entsprechend TGL 200-0602, einer Geräuschklasse gemäß TGL 10687/02 und einem Funkstörgrenzwert entsprechend TGL 20885/13.

Durch die Beachtung dieser und anderer Vorschriften wird praktisch ihre Umweltverträglichkeit sichergestellt.

Bedingt durch das sich verringernde Energieniveau bei den informationsverarbeitenden Einrichtungen einerseits und das sich verschärfende Störklima in den Industrieanlagen andererseits (höhere Kurzschlußstromstärken, zunehmende Oberwellenbelastung der Netze, wachsende Belegungsdichte mit leistungsstarken Aggregaten) sowie des räumlich engeren Zusammenrückens funktionsintensiver elektronischer Baugruppen und energieintensiver elektrischer Komponenten hat im Rahmen der umweltverträglichen Gestaltung, speziell elektrischer und elektronischer Betriebsmittel, die Problematik der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) stark an Bedeutung gewonnen.

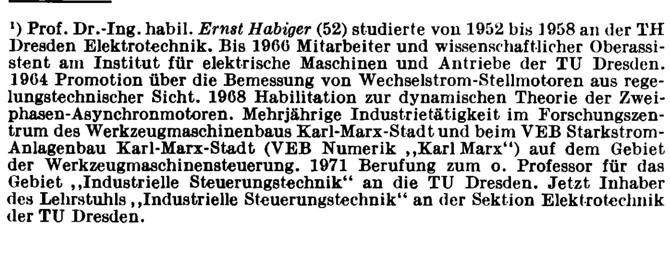
Der EMV-Aspekt betrifft dabei sowohl die Beziehungen eines Automatisierungsgeräts zu seiner Umwelt als auch die geräteinternen Beziehungen seiner Elemente zueinander (Bild 1). Allgemein wird deshalb unter Elektromagnetischer Verträglichkeit folgendes verstanden [1]:

EMV ist die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, d. h. eines Bauelements, einer Baugruppe, eines Gerätes oder Anlagenteils, in einer vorgegebenen elektromagnetischen Umgebung in beabsichtigter Weise zu arbeiten, ohne dabei diese Umgebung durch elektromagnetische Wirkungen in unzulässiger Weise zu beanspruchen.

Elektromagnetische Verträglichkeit ist somit nichts anderes als ein Gütemerkmal, das im Zuge der Entwicklung bzw. Projektierung eines Erzeugnisses zu parametrieren und zu realisieren ist.

1. Grundbegriffe und Definitionen

Ist die Elektromagnetische Verträglichkeit in einer Automatisierungsanlage nicht gewährleistet, so äußert sich das insbesondere



[1]) Prof. Dr.-Ing. habil. *Ernst Habiger* (52) studierte von 1952 bis 1958 an der TH Dresden Elektrotechnik. Bis 1966 Mitarbeiter und wissenschaftlicher Oberassistent am Institut für elektrische Maschinen und Antriebe der TU Dresden. 1964 Promotion über die Bemessung von Wechselstrom-Stellmotoren aus regelungstechnischer Sicht. 1968 Habilitation zur dynamischen Theorie der Zweiphasen-Asynchronmotoren. Mehrjährige Industrietätigkeit im Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt und beim VEB Starkstrom-Anlagenbau Karl-Marx-Stadt (VEB Numerik „Karl Marx") auf dem Gebiet der Werkzeugmaschinensteuerung. 1971 Berufung zum o. Professor für das Gebiet „Industrielle Steuerungstechnik" an die TU Dresden. Jetzt Inhaber des Lehrstuhls „Industrielle Steuerungstechnik" an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.

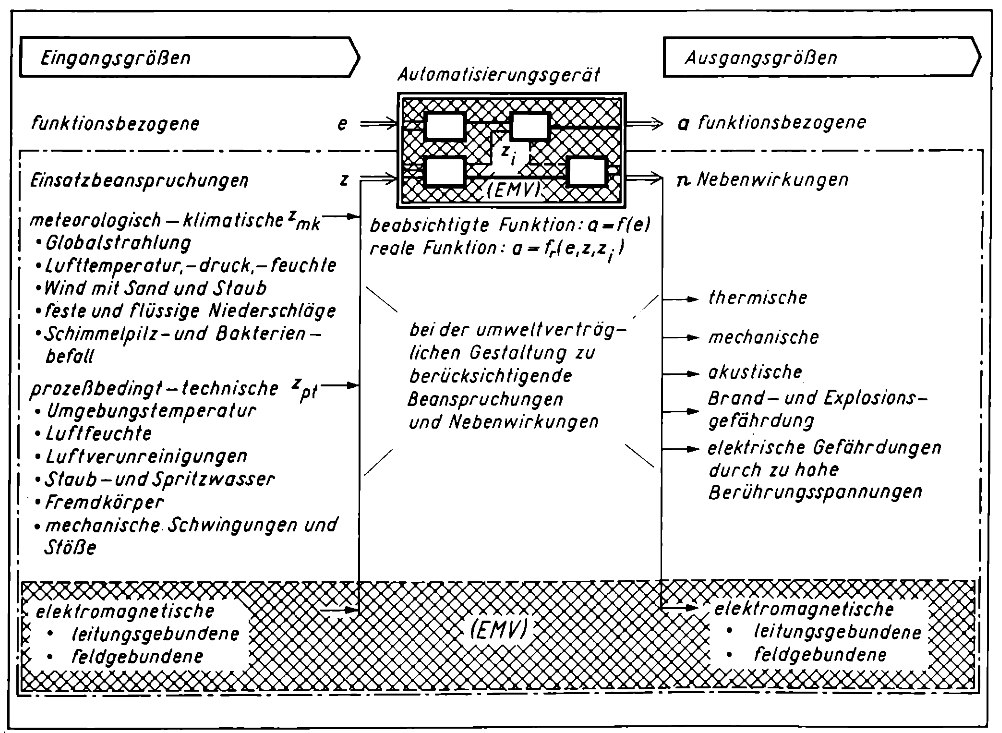


Bild 1. Umweltbeziehungen eines Automatisierungsgeräts

$\boldsymbol{a} = (a_1, a_2, \ldots)$ funktionsbezogene Ausgangsgrößen
$\boldsymbol{e} = (e_1, e_2, \ldots)$ funktionsbezogene Eingangsgrößen
$\boldsymbol{n} = (n_1, n_2, \ldots)$ Nebenwirkungen
$\boldsymbol{z} = (\boldsymbol{z}_{mk}, \boldsymbol{z}_{pt}, \boldsymbol{z}_{em})$ Einsatzbeanspruchungen (EB)
$\boldsymbol{z}_{mk} = (z_{mk1}, z_{mk2}, \ldots)$ meteorologisch-klimatische EB
$\boldsymbol{z}_{pt} = (z_{pt1}, z_{pt2}, \ldots)$ prozeßbedingt-technische EB
$\boldsymbol{z}_{em} = (z_{em1}, z_{em2}, \ldots)$ elektromagnetische EB
$\boldsymbol{z}_i = (z_{i1}, z_{i2}, \ldots)$ parasitäre Wechselwirkungen zwischen Systemelementen (mechanische, thermische, elektromagnetische)

– im Auftreten von Funktionsstörungen,
jedoch auch
– in der Zerstörung von Bauelementen und Geräten
– in der Aufhebung der Eigensicherheit von Anlagen
– in der Beeinträchtigung der Qualitätsparameter der zur Versorgung dienenden Elektroenergie
– in einer Anhebung bzw. Verschärfung des Störklimas der Umgebung.

Die Ursachen dafür sind in allen Fällen nicht beherrschte oder auch nicht beachtete elektromagnetische Störbeeinflussungen, d. h. unbeabsichtigte elektromagnetische Wirkungen einzelner Systemelemente aufeinander oder fremder Systeme auf ein betrachtetes über funktionsbedingt erforderliche oder parasitäre Kopplungen.

Der Mechanismus der Störbeeinflussung setzt dabei mindestens eine Quelle Q, von der Störgrößen ausgehen, und eine Senke S voraus, die über einen Koppelmechanismus K wirkungsmäßig miteinander verbunden sind (Bild 2). Je nachdem, ob die Störquelle Q und die Störsenke S sich innerhalb einer Betrachtungseinheit BE (Bild 3a) oder in voneinander getrennten Betrachtungseinheiten $BE1$, $BE2$ (Bild 3b) befinden, wird zwischen systemeigenen (internen) und systemfremden (externen) Störbeeinflussungen unterschieden.

Tafel 1. Richtwerte für Blitzströme und Blitzüberspannungen
(unter Verwendung von [3])

	Spannungsparameter		Stromparameter	
	Scheitelwert $\hat{u}$ in kV	Steilheit du/dt in kV/µs	Scheitelwert $\hat{i}$ in kA	Steilheit di/dt in A/s
Direkt- bzw. Naheinschlag	einige 100 am Stoßerdungswiderstand	–	150 ... 200	$80 \cdot 10^9$
Ferneinschlag	einige 10	einige 10	einige	–

Tafel 2. Typische Störgrößenparameter bei elektrostatischen Körperentladungen [1]

Kapazität des menschlichen Körpers gegen Erde C_K in pF	In C_K gespeicherte elektrische Energie $W = \frac{1}{2} C_K \hat{u}^2$ in mWs	Spannungsscheitelwert $\hat{u}$ in kV	Spannungssteilheit du/dt in V/ns	Scheitelwert des Entladungsstroms $\hat{i}$ in A
100 ... 250	10 ... 30	5 ... 15	... 1000	einige

Tafel 3. Typische Parameter von Störgrößen, die von Niederspannungsgeräten und von Hochfrequenzquellen herrühren [1]

	Niederspannungsgeräte	Hochfrequenzquellen
Abschaltüberspannungen	... 10 kV	–
Spannungs-Anstiegszeiten	1 ns ... 1 µs	–
Pulsdauer v. Bursts	100 ns ... 1 ms	–
H_{max}	... 60 A/m, f = 50 Hz	–
E_{max}	–	... 10 V/m; f = 0,1 ... 500 MHz ... 1 V/m; f = 500 ... 1000 MHz

Tafel 4. Parameter elektromagnetischer Felder bei Blitzentladungen (LEMP) und Nuklearexplosionen (NEMP) [1] und [3] bis [7]

	Blitzentladungen (LEMP)		Nuklearexplosionen (NEMP)	
	10 m Abstand	100 m Abstand	Explosion in Bodennähe	Explosion großer Höhe
E_{max} in kV/m	einige 100	40	100	30 ... 60
H_{max} in A/m	einige 1000	160	700	130
Anstiegszeit in ns	einige 10 ... 1000		5 ... 8	

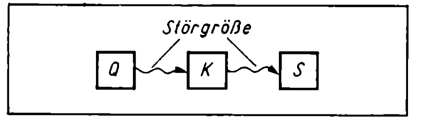


Bild 2. Beeinflussungsmodell
Q Störquelle; S Störsenke; K Koppelmechanismus

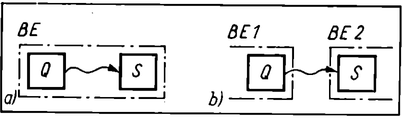


Bild 3. Beeinflussungen
a) systemeigene (interne); b) systemfremde (externe); BE Betrachtungseinheit; Q Störquelle; S Störsenke

Im Zusammenhang mit der EMV-Problematik bedeuten im einzelnen (siehe auch [2]):

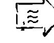
Störquelle: Ursprung von Störgrößen (Gerät oder Vorgang)
In Übereinstimmung mit dem vorher Gesagten ist bei Automatisierungsgeräten zwischen internen und externen Störquellen zu unterscheiden (Bild 4). Durch das Zusammenwirken der letzteren wird das Störklima der Umgebung eines Betriebsmittels geprägt.

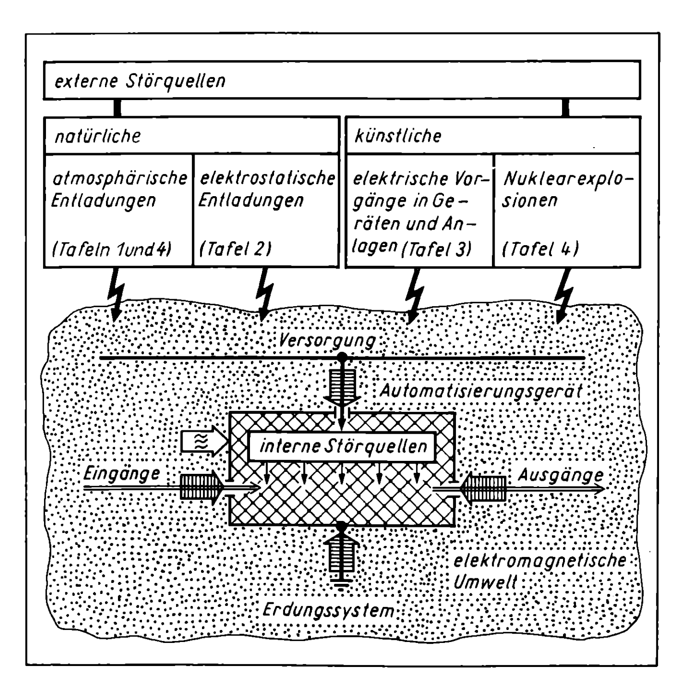
Störgröße: Elektromagnetische Größe, die in einer elektrischen Einrichtung eine unerwünschte Beeinflussung hervorrufen kann
Sie steht als Oberbegriff für Störspannung, Störstrom, Störfeldstärke, Störenergie usw. Störgrößen treten je nach Art der Störquellen periodisch oder aperiodisch, determiniert oder stochastisch, leitungs- oder feldgebunden in Erscheinung. Die Tafeln 1 bis 4 vermitteln eine Übersicht über die Parameter der von externen Störquellen herrührenden Störgrößen. In das Innere einzelner Geräte können sie, falls nicht entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, zusammen mit den Nutzsignalen und der Versorgungsspannung über die im Bild 4 gekennzeichneten Eintrittsstellen (Informationsein- und -ausgänge, Hilfsenergieversorgung, Gehäuse) gelangen.
Für die zusammenhängende Darstellung der für die EMV wichtigen Parameter der Störgrößen (Amplitude, mittlere Wirkungsdauer, Anstiegszeit, Anstiegs- und Abfallgeschwindigkeit) werden für periodische Störgrößen das Amplitudenspektrum und für nichtperiodische impulsförmige Größen vorzugsweise das Amplitudendichtespektrum benutzt [2].

Koppelmechanismus: Physikalischer Mechanismus, über den Störgrößen ausgehend von Störquellen Q auf Störsenken S einwirken (Bild 5).

Bild 4. Störquellen und Eintrittsorte von Störgrößen in Automatisierungsgeräte

 leitungsgebundene Störgrößen;

 feldgebundene Störgrößen



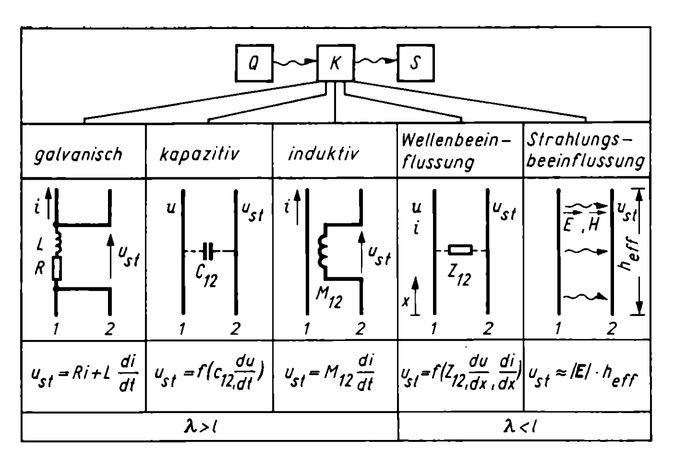


Bild 5. Koppelmechanismen zwischen Stromkreisen

1 beeinflussender Stromkreis; *2* beeinflußter Stromkreis; u_{st} Störspannung; λ Wellenlänge der Störgröße, l Systemlängsausdehnung

Je nach der Größe der Systemabmessungen im Vergleich zur Wellenlänge der Störgröße überwiegt die eine oder die andere Gruppe der angegebenen Kopplungsmöglichkeiten.

Störsenke: Elektrische Einrichtung (Baustein, Baugruppe, Gerät, Anlage, Anlagenteil), deren Funktionsfähigkeit durch Störgrößen beeinträchtigt werden kann.

Störfestigkeit: Eigenschaften von Störsenken, trotz der Einwirkung von Störgrößen bestimmter Intensität störungsfrei zu arbeiten; quantitativ durch die Angabe von zulässigen Beanspruchungsgrenzwerten (Spannungsamplituden, Spannungszeitflächen, Energiemengen, Amplitudendichte-Grenzkurven usw.) beschreibbar (siehe z. B. Tafel 5).

Tafel 5. Energiemengen, die bei elektronischen Komponenten zu vorübergehenden Störungen bzw. zur Zerstörung führen [4]

Komponente	Energiemenge, die notwendig ist zur vorübergehenden Störung Ws	zur Zerstörung Ws
CMOS, die meisten IC's	10^{-7}	10^{-6}
rasche Transistoren	10^{-6}	10^{-5}
Schaltdioden, Low-Power-Transistoren	10^{-5}	10^{-4}
Signaldioden, Gleichrichter	10^{-4}	10^{-3}
Z-Dioden	10^{-3}	10^{-2}
Medium-Power-Transistoren	10^{-2}	10^{-1}
einige spezielle Gleichrichter	10^{-1}	10^{0}
Relais, Röhren	—	10^{-1}
High-Power-Transistoren	10^{0}	10^{1}
Leistungsdioden, Thyristoren	10^{1}	10^{2}

Störschwelle: Pegel, bei dem eine Störgröße in einer Störsenke gerade eine Funktionsstörung hervorruft.

Funktionsstörung: Dauernde oder zeitweilige unzulässige Abweichung der realen Systemfunktion

$$a = f_r(e, z, z_i) \quad (2)$$

vom gewünschten Verhalten (vgl. Bild 1)
Konkret liegt eine Funktionsstörung vor, wenn

— bei analogen Systemen der tatsächliche Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen e und den Ausgangsgrößen a entsprechend (2) das zu (1) gehörende, für einen speziellen Einsatzfall vereinbarte Toleranzfeld verläßt
— bei diskreten Systemen der tatsächliche Zusammenhang zwischen den Eingangsfolgen e und den Ausgangsfolgen a nicht dem durch (1) definierten entspricht.

2. Zielstellungen der EMV-Arbeit

Das globale Ziel einer sinnvollen EMV-Arbeit besteht darin, in Verbindung mit der Entwicklung, Herstellung und Anwendung von Automatisierungsmitteln durch die zweckmäßige Verwirklichung geeigneter technischer Maßnahmen mit vertretbarem Aufwand eine EMV-gerechte Erzeugnisqualität zu erreichen, deren Meß- und Prüfbarkeit und damit objektive Vergleichbarkeit gewährleistet ist.

Erste Hinweise dafür, wie Elektromagnetische Verträglichkeit zu erreichen ist, liefert das Beeinflussungsschema (Bild 2). Prinzipiell mögliche Maßnahmen sind:

- Unterdrücken der Entstehung von Störgrößen durch Maßnahmen an der Störquelle, z. B. durch die Wahl eines störemissionsarmen Schaltungskonzepts, durch Beschalten von Stromrichtern, Induktivitäten und Kontakten
- Erhöhen der Störfestigkeit durch Maßnahmen an der Störsenke, z. B. durch die Anwendung fehlertoleranter Informationsverarbeitungskonzepte, durch den Einsatz von Filtern, durch Schirmung, Potentialtrennung, Versorgungsspannungsstabilisierung, Überspannungsableitung sowie geeignete Erdung, Massung und Bezugspotentialführung
- Abschwächen der Ausbreitung von Störgrößen durch Maßnahmen am Koppelmechanismus, wie Filtern, Schirmen, räumlich Trennen, galvanisch Entkoppeln, EMV-gerecht Erden, Massen und Ableiten von Überspannungen.

Praktisch macht man von allen drei Möglichkeiten einzeln oder kombiniert Gebrauch.

3. Organisatorische und ökonomische Aspekte

Zum Erreichen der EMV-Zielstellungen gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten:

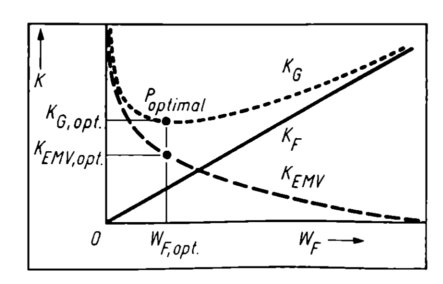
— Nachbesserung bzw. Nachentwicklung
— Planmäßige kontinuierliche Arbeit im Rahmen der Projektabwicklung, die in der Regel kostengünstiger ist. Die Elektromagnetische Verträglichkeit wird hier, wie alle anderen Qualitätsmerkmale, geplant und ihre Verwirklichung im Zuge der Erzeugnisrealisierung durch das Qualitätssicherungssystem des Betriebes überwacht.

Konkret geht es stets darum, systemeigene Beeinflussungen (Bild 3a) sicher zu beherrschen, Störemissionen (Netzrückwirkungen, Funkstörungen) auf ein vertretbares Maß zu begrenzen und systemfremden Beeinflussungen (Bild 3b) mit jeweils gerechtfertigtem Aufwand zu begegnen. Gerechtfertigter Aufwand bedeutet dabei, daß es nicht sinnvoll ist, Störfestigkeit gegenüber systemfremden Beeinflussungen um jeden Preis zu erreichen, sondern vielmehr eine Zielstellung anzustreben, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Gesamtkosten K_G, verursacht durch die Kosten K_F, die infolge fehlerhafter Systemarbeit anfallen, und die Kosten K_{EMV}, die durch störfestigkeitsfördernde Maßnahmen zusätzlich zu den Entwicklungskosten entstehen, einem Minimum zustreben. Das heißt, der EMV-Planungs- und -Abwicklungsprozeß sollte kostenmäßig so geführt werden, daß im Bild 6 der Punkt $P_{optimal}$ angesteuert wird. Praktisch besteht die Schwierigkeit darin, die Abhängigkeit $K_F(W_F)$ und $K_{EMV}(W_F)$ zu quantifizieren. Aus der Literatur sind jedoch eine Reihe von Erfahrungswerten für den Kostenbetrag $K_{EMV, Opt}$ bekannt. Je nach Größe des betrachteten Objekts liegt er in den Grenzen zwischen 2 bis 12% der Entwicklungskosten [8].

4. Planung und Abwicklung der EMV-Arbeiten

Vorstellungen und Forderungen bezüglich der EMV-Parameter sind, wie bereits dargelegt, ebenso wie die anderen Komponenten des für ein bestimmtes Erzeugnis anvisierten Entwurfszieles, zunächst im Pflichtenheft niederzulegen und danach im Zuge des Entwurfs- und Realisierungsgeschehens planmäßig zu verwirklichen. Als Rahmenvorschrift für die betriebliche EMV-Arbeit ist dabei die Verordnung über die Entwicklung und Sicherung der Qualität von Erzeugnissen [9] geeignet. In dieser Verordnung wird scharf zwischen den Aktivitäten und Verantwortlichkeiten zur Erreichung eines geforderten Qualitätsniveaus und der Kontrolle dieser Arbeiten und ihrer Ergebnisse unterschieden.
Die Verantwortung für die Erreichung der geforderten Werte der EMV-Parameter liegt in jedem Fall bei den produktionsvorbe-

Bild 6. Zusammenhang zwischen Kosten K und Fehlerwahrscheinlichkeit W_F



K_F Kosten, die durch fehlerhafte Systemarbeit entstehen; K_{EMV} Kosten, die durch störsicherheitsfördernde Maßnahmen verursacht werden; $K_G = K_F + K_{EMV}$ Gesamtkosten

reitenden und den produktionsdurchführenden Abteilungen, insbesondere beim jeweiligen Themenverantwortlichen. Da ein wesentlicher Teil der anfallenden EMV-Arbeiten sehr eng mit den übrigen Arbeiten zur Schaffung eines Erzeugnisses verflochten ist, muß er von den Mitarbeitern der genannten Bereiche geleistet werden. Diese müssen demzufolge über entsprechende EMV-Grund- und -Spezialkenntnisse verfügen.
In bezug auf die Organisation und Überwachung der EMV-Arbeiten ist es erforderlich, daß zumindest in größeren Betrieben ein auf Fragen der Elektromagnetischen Verträglichkeit spezialisierter Mitarbeiter tätig ist, dem die Koordinierung, Durchsetzung und Kontrolle der betrieblichen EMV-Arbeit obliegt, die entsprechend den für die Entwicklungsaufgaben des Betriebs zu erarbeitenden EMV-Programmen durchgeführt wird, der darüber hinaus die Funktion eines EMV-Fachberaters ausübt, EMV-Einsatzerfahrungen sammelt und auswertet, internationale Entwicklungstrends beobachtet und der, ggf. in Zusammenarbeit mit Anwendern für die Formulierung technisch und ökonomisch begründeter EMV-Forderungen, im Sinne von Abschn. 3. zuständig ist.
Tafel 6 und Bild 7 zeigen abschließend, wie die einzelnen EMV-Arbeitsanteile den Entwicklungsstufen eines Erzeugnisses bzw. den einzelnen Projektphasen einer Automatisierungsanlage zugeordnet werden können.

5. Prüfen der EMV-Parameter

Im Zuge der Entwicklung und Fertigung von Automatisierungsmitteln ist es in Verbindung mit dem zu erbringenden EMV-Qualitätsnachweis erforderlich, neben der bisher üblichen Funkstörprüfung entsprechend TGL 20885/06 und /13 die Beständigkeit gegenüber systemeigenen Beeinflussungen (Eigenstörfestigkeit) und gegenüber systemfremden Beeinflussungen (Fremdstörfestigkeit) am Funktionsmuster, am Fertigungsmuster und am fertigen Erzeugnis meßtechnisch zu überprüfen und in geeigneter Form quantitativ auszuweisen.
Die Überprüfung der Eigenstörfestigkeit ist nur indirekt möglich. Es empfiehlt sich eine Funktionsprüfung bei extremen Umgebungsbedingungen, insbesondere bei extremen Temperaturen und Versorgungsspannungsparametern, und zwar verringert sich bei niedriger Temperatur die Diodenschwelle der Halbleiterbauelemente und bei niedrigen Versorgungsspannungen darüber hinaus der Störabstand. Dadurch bedingt einsetzende Funktionsstörungen lassen Rückschlüsse auf EMV-Schwachstellen zu. Zwecks Erzielung eindeutiger Aussagen ist das Prüfobjekt bei der Durchführung dieser Messungen sorgfältig gegenüber unkontrollierten Fremdbeeinflussungen zu schützen.
Die Störfestigkeit eines Automatisierungsgeräts gegenüber externen Beeinflussungen (Fremdstörfestigkeit) wird überprüft, indem die im Pflichtenheft vereinbarten Störbeanspruchungen, denen das Gerät standhalten muß, an den Geräteschnittstellen zur Wirkung gebracht werden. Im einzelnen handelt es sich dabei (Bild 4) um den Nachweis der Störfestigkeit gegenüber leitungsgebundenen Störgrößen, die über den Netzanschluß, über die Informationsein- und -ausgänge oder über das Gehäuse eindringen können, sowie gegenüber feldgebundenen Störgrößen, die als elektrische oder magnetische Störfeldstärken auf das Automatisierungsgerät einwirken. Bild 8 zeigt das Prinzip der Prüfanordnung.
Wesentliche Elemente sind:

- Generator zur Simulation repräsentativer Störgrößen
- Koppelnetzwerk, über das die simulierten Störgrößen der Geräteschnittstelle aufgeprägt werden
- Meßanordnung (Speicheroszilloskop, Transientenrecorder) ausreichender Bandbreite (mindestens 100 MHz).

Um die vielfältigen, in der betrieblichen Praxis möglichen Störerscheinungen simulationstechnisch zu beherrschen, wurden von den verschiedensten Firmen eine Vielzahl von Eigenbau- und Seriengeräten zur Erzeugung der unterschiedlichsten Störgrößen entwickelt [8] [11] und [12]. Grob kann man sie einteilen in

- Generatoren zur Simulation von Netzstörspannungen und Netzanomalien
- Generatoren zur Erzeugung schneller energiearmer Impulse (Pulsanstiegszeit im ns-Bereich, Energieinhalt 2 bis 5 mJ)
- Generatoren zur Erzeugung langsamer energiereicher Impulse (Pulsanstiegszeit im µs-Bereich, Energieinhalt 0,5 bis 2,5 J)
- Generatoren zur Simulation elektrostatischer Entladungen mit Parametern entsprechend Tafel 2.

Des weiteren werden Funkenstrecken [13] und Hochfrequenzsender [11] [14] und [15] für Störfestigkeitsuntersuchungen an

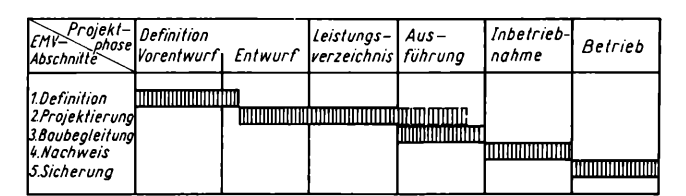


Bild 7. EMV-Arbeiten in den einzelnen Projektphasen einer Automatisierungsanlage [10]

Inhalt der einzelnen EMV-Arbeitsabschnitte:

1. Definition: Konstituierung der EMV-Arbeitsgruppe, Festlegung der EMV-Organisation, Ausarbeitung des EMV-Programms, Analyse des EMV-Klimas, qualitative Analyse der möglichen Beeinflussungen, Festlegung von Grenzwerten für elektromagnetische Emissionen, Definition erforderlicher Störfestigkeitswerte, Festlegung allgemeiner EMV-Maßnahmen
2. Projektierung: Quantitative EMV-Analyse, Festlegung konkreter EMV-Maßnahmen, Erstellen von Schirmungs-, Filterungs-, Massungs-, Erdungs- und Verkabelungskonzepten, Ausarbeitung des Überspannungs- und Blitzschutzkonzepts, Auflisten der EMV-Forderungen an Teilsysteme und Geräte, Festlegung der zu erbringenden EMV-Nachweise sowie der EMV-Meßprogramme und Meßverfahren
3. Baubegleitung: Sichtkontrollen, Messungen, Planungsaktualisierung
4. Nachweis: Nachweismessungen, Realisierung von Änderungen und Zusatzmaßnahmen, Erstellen der EMV-Dokumentation
5. Sicherung: Vergleichsmessungen, Einpassen von Anlagenänderungen und Erweiterungen

Tafel 6. Einordnung der EMV-Aktivitäten in die Entwicklungsstufen eines Erzeugnisses

Arbeitsstufe	Leistung
K 1	Vereinbarung der EMV-Forderungen im Pflichtenheft, Erstellen des EMV-Programms
K 2	Berechnung und Optimierung der EMV-Parameter
K 5 oder K 5/0	Beginn der EMV-Nachweise am Funktionsmuster, Präzisierung des EMV-Programms, Abschluß entsprechend dem präzisierten Programm
K 8 oder K 8/0	Beginn der EMV-Nachweise am Fertigungsmuster
K 10 oder K 10/0	Ausarbeitung der EMV-Applikationsvorschriften (Vor-Ort-Maßnahmen, Standortwahl, Kabelverlegung u. a.)
K 11	Vorbereiten der EMV-Nachweise an Seriengeräten

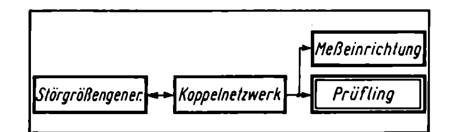


Bild 8. Anordnung zur Bestimmung der Störfestigkeit

Automatisierungsgeräten gegen Strahlungsbeeinflussungen verwendet.
Ein generelles Problem stellt gegenwärtig der Sachverhalt dar, daß ungenügende Erfahrungen darüber vorliegen, welchen konkreten Störbeanspruchungen ein Automatisierungsgerät beim industriellen Einsatz ausgesetzt ist. Erste Ansätze hierzu liegen nur in bezug auf Störspannungen in Niederspannungsnetzen vor [16] und [17]. Demzufolge existieren auch noch keine verbindlichen Vorschriften darüber, welchen Prüfbeanspruchungen Automatisierungsgeräte in Abhängigkeit von ihrem beabsichtigten Einsatz im Rahmen von Störfestigkeitsprüfungen auszusetzen sind. Sowohl bei der Festlegung der entsprechenden EMV-Parameter im Pflichtenheft als auch bei der Festlegung der Prüfbeanspruchungen wird daher in der Regel noch von individuellen Erfahrungen ausgegangen, oder es werden mehr oder weniger technisch-ökonomisch begründete diesbezügliche Vereinbarungen zwischen Hersteller und Anwender getroffen. Dieser Sachverhalt wird sich jedoch mit der Vervollständigung des EMV-Normenwerkes ändern.

6. EMV-Standards

Um die Elektromagnetische Verträglichkeit eines Erzeugnisses effektiv planen, realisieren, prüfen und ausweisen zu können, bedarf es zusätzlich zu den bereits vorliegenden Standards zum Problemkreis der Funkstörungen einer Reihe weiterer verbindlicher Festlegungen. Daran wird weltweit gearbeitet.
Der Standardisierung zugänglich sind [18]

- die EMV-Termini, d. h. die für eine sinnvolle Anwendung der Standardisierungsergebnisse notwendigerweise festzulegenden Begriffe

- Pegelwerte bzw. Verträglichkeitsklassen für EMV-relevante Parameter als normale Einsatzbedingungen für Automatisierungsgeräte
- Grenzwerte für impulsförmige Störemissionen, ähnlich den Funkstörgrenzwerten, die von bestimmten Geräten oder Anlagenteilen ausgehen dürfen
- Störfestigkeitswerte für Betriebsmittel, die die Widerstandsfähigkeit gegenüber bestimmten elektromagnetischen Beanspruchungen quantitativ ausweisen
- Meßanordnungen und Meßverfahren für EMV-Parameter
- die Darstellung von Störgrößen, Beanspruchungen und Störfestigkeitswerten
- Vorschriften für Störfestigkeitsprüfverfahren einschließlich der dazu verwendeten Prüfbeanspruchungen
- die Parameterwerte von Entstörbauelementen (Kondensatoren, Drosseln, Filterbausteine, Störschutzbeschaltungen, Überspannungsableiter u. a.)
- Vorschriften für Lagerung und Transport von Automatisierungsmitteln, die den EMV-Aspekt berücksichtigen, um z. B. Schädigungen durch HF-Einstrahlung, Blitzeinwirkungen oder durch elektrostatische Entladungen zu vermeiden
- Programminhalte der EMV-Arbeit, d. h. Festlegungen zu den in den einzelnen Arbeitsstufen im Rahmen einer Erzeugnisentwicklung oder Projektabwicklung bezüglich der EMV-Arbeit zu erbringenden Leistungen.

Weniger für eine allgemeine Normung geeignet sind Gestaltungsregeln für den störfesten Aufbau von Schaltungen bzw. die Konstruktion von Geräten oder die Anordnung von Baugruppen und Geräten relativ zueinander oder auch die Verlegung von Leitungen u. a. m. Diese in der Regel bauelemente- und gerätegenerationsspezifischen Belange bleiben firmeninternen Vorschriften und Gestaltungsrichtlinien bzw. erzeugnisspezifischen Standards vorbehalten.

Sieht man von den der Elektromagnetischen Verträglichkeit zugehörigen Problemkreisen „Funkstörungen" und „Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen", zu denen ein relativ gesichertes Wissen und ein entsprechend umfangreiches Vorschriftenwerk vorliegt, ab, so gibt es bisher zur EMV-Problematik für den industriellen Bereich der Automatisierungstechnik nur wenige Verbindlichkeiten [2] [15] und [19] bis [23]. Es wird jedoch mit großer Intensität auf diesem Gebiet gearbeitet. Die folgende Aufstellung vermittelt abschließend eine Übersicht über die diesbezüglichen Aktivitäten im Rahmen der IEC [18]:

IEC TC 77 Elektromagnetische Verträglichkeit
IEC TC 77 WG1 Begriffe der EMV
IEC TC 77 WG2 Bezugsnetzimpedanzen
IEC TC 77 WG3 und WG5 Überschwingungen
IEC TC 77 WG4 Spannungsschwankungen
IEC TC 77 WG6 Geräte und Verfahren zur Messung der EMV
IEC TC 77 WG7 EMV in industriellen Anlagen.

Literatur

[1] *Habiger, E.*: Elektromagnetische Verträglichkeit — Störbeeinflussungen in Automatisierungsgeräten und -anlagen. Band 212 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1984.
[2] DIN 57847, Teil 1/VDE 0847, Teil 1: Meßverfahren zur Beurteilung der elektromagnetischen Verträglichkeit; Messen leitungsgeführter Störgrößen; November 1981.
[3] *Hasse, P.*: Schutz von Niederspannungsanlagen mit elektronischen Geräten vor Überspannungen — Schutzmaßnahmen und Schutzgeräte. In: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) in der Praxis. Hrsg.: *K. Fleck*. Berlin: VDE-Verlag GmbH 1982.
[4] *Tangermann, E. P.*: EMP kontra Elektronik. Funkschau (1982) 26, S. 71—74.
[5] *Ruedy, T., u. a.*: Entstehung und Wirkung des NEMP. Bull. SEV 71 (1980) 17, S. 906—910.
[6] *Kukan, A.*: EMP, der elektromagnetische Superblitz. Funk-Technik 38 (1983) 6, S. 235—237.
[7] *Ziebell, G.*: Der lautlose Atomschlag aus dem All. wissenschaft und fortschritt 33 (1983) 5, S. 171—174.
[8] *Wilhelm, J., u. a.*: Elektromagnetische Verträglichkeit. Grafenau/Württ.: expert-verlag GmbH 1981.
[9] Verordnung über die Entwicklung und Sicherung der Qualität der Erzeugnisse. GBl. I, Nr. 14, S. 117 vom 17. April 1980.
[10] *Schindler, H.; Vau, G.*: EMV-Planung bei Baumaßnahmen. etz 100 (1979) 5, S. 229—231.
[11] *Stoll, D., u. a.*: EMC, Elektromagnetische Verträglichkeit. Berlin: Elitera-Verlag 1976.
[12] *Bollinger, E.*: Netzstörspannungen und ihre Simulation. Elektroniker (1978) 10, S. EL5—EL13.
[13] *Sanetra, E.*: Umweltprüflabor zur Erprobung von Bauelementen, Komponenten und Anlagen. Techn. Mitt. AEG-Telefunken 70 (1980) 2/3, S. 148 bis 156.
[14] *Syhre, J., u. a.*: Störfestigkeit elektronischer Steuerungen — Simulation. Forschungsbericht an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1983.
[15] IEC-Publikation 654: Einsatzbedingungen, Teil 5: Elektromagnetische Verträglichkeit (Entwurf).
[16] *Rehder, H.*: Störspannungen in Niederspannungsnetzen. etz 100 (1979) 5, S. 216—220.
[17] *Blechschmidt, H.; Karmatschek, B.*: Merkmale der elektrischen Versorgungsspannung für Niederspannungsverbraucher. Bericht des Forschungsausschusses „Verteilung" der Unipede, Paris. Elektrizitätswirtschaft 81 (1982) 6, S. 185—188.
[18] *Weber, J.*: Sachaufgaben der EMV-Normung. etz 100 (1979) 5, S. 226—228.
[19] TGL 36172: Interface zwischen numerischen Steuerungen und Be- und Verarbeitungsmaschinen. Ausg. Okt. 1979.
[20] TGL 200-0608/04: Stromrichteranlagen; Strom- und Spannungsoberschwingungen; Ausg. April 1977.
[21] RGW-Standardentwurf: URS-Erzeugnisse. Schutz der Erzeugnisse und ihrer Zubehörteile vor elektromagnetischen Störungen in Energiebetrieben (2. Entwurf, Februar 1983).
[22] DIN 57160, Teil 2/VDE 0160, Teil 2: VDE-Bestimmungen für die Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln, Einrichtungen mit Betriebsmitteln der Leistungselektronik in Starkstromanlagen. Ausg. 1975.
[23] DIN 45410: Störfestigkeit von elektronischen Geräten; Meßverfahren und Meßgrößen. Ausg. Mai 1976.

msr 8030

G.-W. Werner; R. Werner[1])

Untersuchungen von Instandhaltungsaufwendungen für Automatisierungseinrichtungen — wichtige Voraussetzung zur weiteren Gestaltung der Instandhaltungsleistungen

0. Einleitung

Im Rahmen der Entwicklung der chemischen Industrie als weitgehend intensiv erweiterte Reproduktion kommt der Automatisierungstechnik als einem wichtigen Intensivierungsfaktor ständig steigende Bedeutung zu.

Das Verhältnis von Aufwand für die Automatisierungstechnik zu Nutzen durch die Automatisierungstechnik wird wesentlich von der Erhaltung der geforderten Verfügbarkeit unter Beachtung vorgegebener funktioneller Gebrauchseigenschaften der Automatisierungstechnik über den Nutzenszeitraum bestimmt. Damit ist bereits die dringende Forderung nach einer systematischen Erhöhung des wissenschaftlich-technischen Niveaus der Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Instandhaltungsprozesse formuliert.

Die Bedeutung der Instandhaltung von Automatisierungseinrichtungen und ihre Intensivierung wird im Perspektivzeitraum weiter in den Vordergrund wirtschaftlicher Tätigkeit rücken und immer stärker die Produktionseffektivität mitbestimmen. Das drückt sich unter anderem in folgenden Entwicklungskriterien aus:

- Mit steigendem spezifischen Leistungsvermögen und wachsender Intensität der technologischen Verkettung der Produktionsanlagen, bei ständig steigenden Anlagenkosten, muß zu zunehmend kürzeren Stillstandszeiten der Produktion und damit zeitbezogen auf größere Instandhaltungskapazitäten übergegangen werden. Dazu ist eine wesentliche Erhöhung der Effektivität der Planung und Leitung aller Instandhaltungsprozesse notwendig
- Die bedeutende Steigerung von Automatisierungsgrad und -umfang der Produktionsanlagen führt zu immer stärkerer Integration der automatisierungstechnischen und anlagentechnischen Systeme, wobei diese Entwicklung zwangsläufig mit der breiten Einführung der Mikroelektronik weiter an Bedeutung zunimmt. Dieser Trend führt gleichzeitig zu einer Verschiebung des prozentualen Arbeitskräftebedarfs der ein-

---

[1]) Prof. Dr. sc. techn. *Georg-Wilhelm Werner* (48) studierte von 1953 bis 1959 Regelungstechnik an der TH Dresden. 1959 bis 1964 wissenschaftlicher Assistent an der TH Ilmenau. 1964 bis 1971 Ausübung verschiedener Leitungsfunktionen am Institut für Kraftwerke Vetschau. 1965 Promotion A, 1972 Promotion B. Seit 1971 Tätigkeit am Lehrstuhl für Zuverlässigkeitstheorie der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg, jetzt Hochschullehrer und Wissenschaftsbereichsleiter.

Dipl.-Ing. oec. *Rolf Werner* (48) erlernte den Beruf eines Feinmechanikers. 1953 bis 1956 Studium an der Ingenieurschule für Feinmechanik/Optik. 1971 bis 1976 Fernstudium „Sozialistische Betriebswirtschaft" an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. 1977 bis 1979 postgraduales Studium „Informationsverarbeitung" an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg. Seit 1981 außerplanmäßige Aspirantur an der TH Leipzig. Jetzige Tätigkeit Abschnittsleiter im VEB Filmfabrik Wolfen.

zelnen Instandhaltungsgewerke mit einer absoluten Zunahme des Arbeitskräftebedarfs des Instandhaltungsgewerkes Automatisierungstechnik

- Ausfälle der Automatisierungstechnik führen immer öfter zu Produktionsausfällen, da die „von Hand"-Fahrweise komplexer Produktionsanlagen aus Sicherheits- und Qualitätsgründen immer weniger möglich ist
- Die automatische Durchführung von Anfahr-, Abfahr- und Umsteuerprozessen mit hoher Zuverlässigkeit gewinnt auch in der chemischen Industrie zunehmend an Bedeutung
- Mit der breiten Einführung der neuen Automatisierungssysteme ursamat 5000 — „Neue Anlagengeneration mit Mikrorechner" sowie der weiteren Erhöhung des Automatisierungsgrades der Produktionsanlagen wird der Bedien- und Überwachungsaufwand abnehmen. Der relative Instandhaltungsaufwand für die Automatisierungssysteme dürfte gleichfalls abnehmen, der absolute Instandhaltungsaufwand wird jedoch wachsen.
- Bedingt durch die Einführung qualitativ neuer Arbeitsgegenstände mit höherem technischem Niveau, wie
  . Automatisierungssysteme GAA 5000 und audatec
  . Meß-, Prüf- und Fertigungsautomaten
  . Robotertechnik,

  und dem damit verbundenen Einsatz neuer Arbeitsmittel, wie Prüfgeräte, Betriebsnormale usw., ist eine wesentliche Erhöhung des Qualifikationsniveaus der Automatisierungs-Instandhalter notwendig. Planmäßige Gestaltung der Instandhaltungstätigkeit erfordert als Ausgangsbasis die Ermittlung des Istzustandes auf der Grundlage qualitativer und quantitativer Kennziffern.

1. Bestimmung von Instandhaltungsaufwand und -kapazität

In der betrieblichen Praxis werden gegenwärtig unterschiedliche Kennziffern zur Ermittlung von Instandhaltungskapazitäten und -aufwand mit den bekannten Vor- und Nachteilen genutzt. Solche Kennziffern sind unter anderem:

$$\textbf{Betreuungsquote} = \frac{\text{Grundmittelwert brutto}_A \text{ (in Mill. M)}}{\text{Anzahl } AK_{I,A} \text{ (in VbE)}}$$

Die Betreuungsquote ist zur Abschätzung von produktiver und ingenieur-technischer Instandhaltungstätigkeit sowie zur Beurteilung detaillierter Instandhaltungstätigkeit (z. B. Innendienst, Außendienst) in Gebrauch.

$$\textbf{Quote der Automatisierungsstellen} = \frac{\text{Anzahl Automatisierungsstellen}}{\text{Anzahl } AK_{I,A} \text{ (in VbE)}}\,.$$

$$\textbf{Mittlerer jährlicher Instandhaltungsaufwand} = \sum_{i=1}^{n} \text{(Instandhaltungsaufwand-Std./a)} \cdot \text{Anzahl}_i$$

Indizes:

I Instandhaltung
A Automatisierungstechnik
i ($i = 1, 2, \ldots, n$) = Automatisierungsgerätetyp

Im Entwurf der KDT-Empfehlung [4] wird auf der Grundlage von Untersuchungen in einem chemischen Großbetrieb eine verfeinerte Ermittlung des Instandhaltungsaufwandes für Außendiensttätigkeit vorgeschlagen. Auf der Basis der Anzahl der Meßstellen soll dabei mit Hilfe von Wichtigkeitsfaktoren für die BMSR-Stellenart (Prozeßmeßgrößenart; Konfigurationsgruppe) der jährliche Instandhaltungsaufwand ermittelt werden.

Arbeitszeitnormen als TAN/VAN sind als praktikabel für Innendienstarbeit (Werkstattinstandsetzung) eingeführt.
Arbeitszeitnormen bewähren sich im Außendienst nicht. Hier ist eine generelle Verwendung von Besetzungsnormen auf der Grundlage von Betreuungsquoten und/oder der Erfassung mittlerer jährlicher Instandhaltungsaufwendung zu empfehlen.
Die Einführung der Mikroelektronik mit den zu erwartenden bzw. schon wirkenden weitreichenden Einflüssen auf die Instandhaltungsprozesse erfordert auch eine wissenschaftliche Bearbeitung bzw. Weiterentwicklung der Aufwands- und Kapazitätskennziffern. Das ist z. B. mit der Weiterentwicklung der KDT-Empfehlung nach [4] möglich.

2. Darstellung von Kennziffern aus Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden an charakteristischen verfahrenstechnischen Anlagen der chemischen Industrie durchgeführt. Die Allgemeingültigkeit der Aussagen soll dabei mit dem Vergleich der zu betreuenden Prozeßgrößen mit bekannten Mittelwerten geführt werden. Nach der Tafel ist dabei eine gute Übereinstimmung zu erkennen.
Im Bild 1 kommt mit der Darstellung der Entwicklung des Einsatzes von Automatisierungsmitteln in den untersuchten verfahrenstechnischen Anlagen der stark extensive Charakter zum Ausdruck.
Dieser Trend ist auch in der Entwicklung der Betreuungsquote (bezogen auf $\sum AK_{I,A}$) nach Bild 2 zu erkennen. Es wird deut-

Tafel. Aufteilung von Automatisierungsstellen auf einzelne Prozeßgrößen

Prozeßgrößen nach TGL 14091/01, Ausgabe 8/81		Anteil der Automatisierungsstellen [in %] nach [3]	Anteil der Automatisierungsstellen [in %] Untersuchungen
Dichte	D	0,07	0,06
elektrische Größe	E	0,73	0,08
Durchfluß (Volumen, Masse)	F	13,93	17,66
Abstand, Stellung, Länge	G	0,04	0,48
Handeingabe/Handeingriff	H		4,59
Zeit, Zeitplan	K		0,06
Füllstand	L	9,25	7,19
Feuchte	M	0,36	1,96
Druck	P	25,46	18,94
Qualitätsgröße	Q	2,91	1,05
Radioaktivität	R	0,07	
Geschwindigkeit	S	1,56	1,56
Temperatur	T	44,15	40,67
zusammengesetzte Größe	U	0,19	0,60
Viskosität	V	0,19	
Masse, Kraft	W	0,04	0,62
sonstige Prozeßgröße	X	1,59	2,75
Steuerung allgemein	Y		1,73

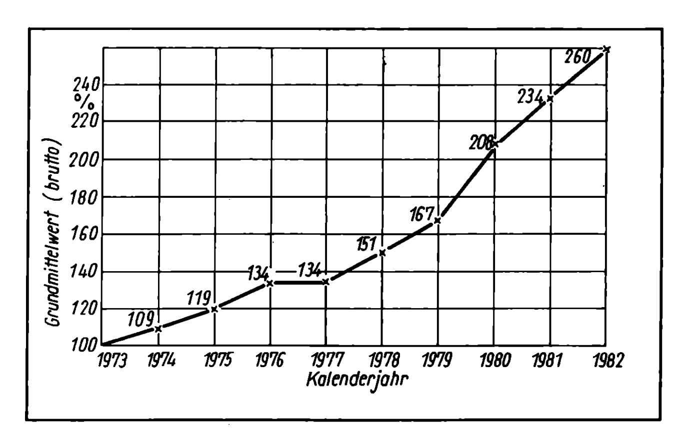
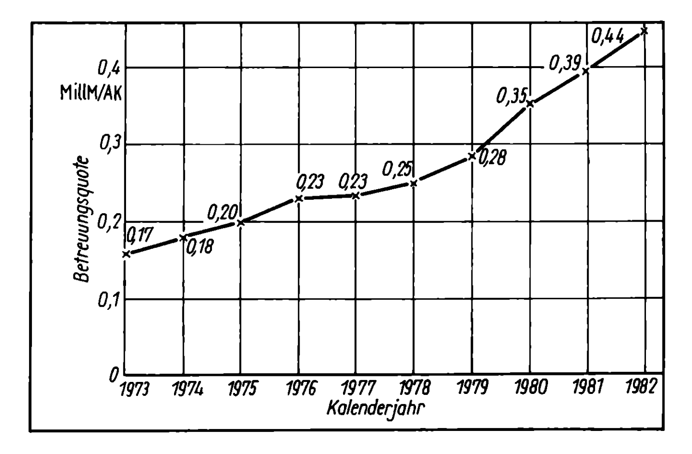


Bild 1. Entwicklung der Automatisierungstechnik von charakteristischen verfahrenstechnischen Anlagen

Bild 2. Entwicklung der Betreuungsquote
(bezogen auf Bild 1)



lich, daß mit gleicher Anzahl von Arbeitskräften in dem betrachteten Zeitraum die Instandhaltungsaufgaben zu sichern waren, wobei von dem Instandhaltungsgewerk Automatisierungstechnik auch nicht zur Instandhaltung gehörende Leistungen erbracht werden, wie aus dem zugeordneten Bild 3 zu entnehmen ist. Die hier gezeigte Leistungsstruktur hängt von einer Reihe Faktoren ab, wie

— Vielschichtigkeit der eingesetzten Automatisierungstechnik
— Notwendigkeit der Eigenfertigung von Automatisierungsmitteln (Rationalisierungsmittelbau)
— Notwendigkeit der Durchführung von Eigenmontagen
— Nutzung von Kooperationsbeziehungen (besonders für Instandsetzung).

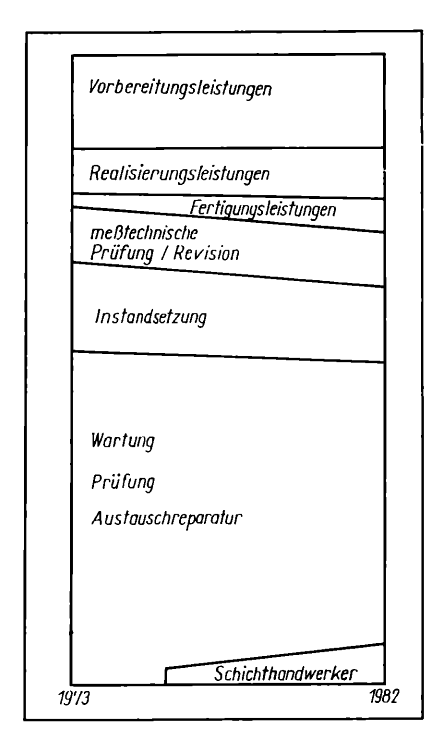
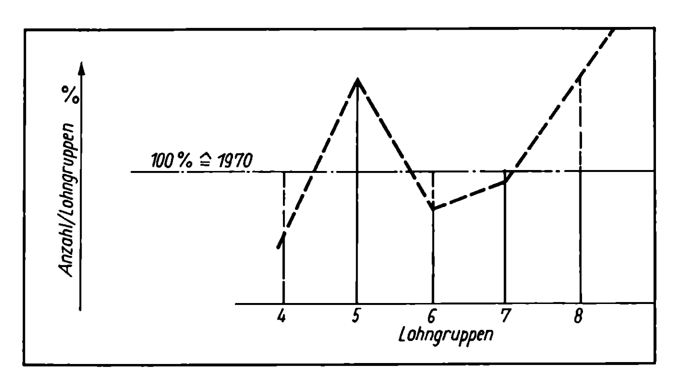


Bild 3. Leistungen eines Instandhaltungsgewerkes Automatisierungstechnik

Die aus dem Bild 2 erkennbare Leistungssteigerung des Instandhaltungsgewerkes ist mit einer Vielzahl von Rationalisierungsmaßnahmen begründet. Die wachsende Kompliziertheit und Komplexität der Instandhaltungsaufgaben wird unter anderem durch die Lohngruppenstruktur der Instandhalter und deren tendentielle Entwicklung deutlich, die im Bild 4 dargestellt ist. Die Erhöhung der Anzahl mit Lohngruppe 5 resultiert aus Qualifizierungsmaßnahmen ungelernter Hilfskräfte zur Sicherung der meßtechnischen Richtigkeit in Durchsetzung der TGL 31532 „Betriebliches Meßwesen". Der Trend zur Erhöhung des Qualifizierungsniveaus bei der Lösung anstehender Instandhaltungsaufgaben wird zur verstärkten direkten Einbeziehung von ITP-Kadern (ingenieurtechnisches Personal) in die Instandhaltungstätigkeit führen.

Bild 4. Tendenzielle Veränderung der Lohngruppenstruktur (Basis 1970) der Automatisierungsinstandhalter

(zugeordnet zu Bild 2)



Schlußfolgerungen

Für die untersuchten verfahrenstechnischen Anlagen ergibt sich eine Kapazitätsbilanz von Instandhaltungsbedarf > Instandhaltungskapazität. Das bedeutet, daß mit den erreichten Betreuungsquoten die Aufgaben optimaler Instandhaltungstätigkeit nicht allseitig erfüllbar sind. Einschränkungen bei der planmäßig vorbeugenden Instandhaltung sind erkennbar. Ohne auf die negativen Auswirkungen dieser Entwicklung für die Erfüllung der Produktionsaufgaben näher einzugehen, muß doch prognostiziert werden, daß die weitere Ausweitung der Automatisierungstechnik unter dem Einfluß der Mikroelektronik eine Reihe abgestimmter Maßnahmen erzwingt, die letztlich die erforderliche Verfügbarkeit der Automatisierungstechnik und damit eine stabile Produktion gewährleisten. Solche Maßnahmen sind:

- Der Instandhaltung der Automatisierungstechnik ist erhöhte Bedeutung beizumessen, bei Schaffung erforderlicher Instandhaltungsvoraussetzungen auf der Grundlage und unter Beachtung des erreichbaren Automatisierungsnutzens. Solche Instandhaltungsvoraussetzungen sind unter anderem:
  — Erhöhung des Qualifikationsniveaus der Instandhaltungsfachkräfte bei gleichzeitiger Veränderung der Qualifikationsstruktur
  — Bereitstellung der erforderlichen Arbeitsmittel, wie Spezialwerkzeuge, Meß- und Prüftechnik
  — Gewährleistung einer ausreichenden Versorgung mit Störreserve- und Reparaturbaugruppen
  — Aufbau von Instandhaltungskapazitäten zur Softwareinstandhaltung
  — Erweiterung der Instandhaltungskapazitäten entsprechend der Zunahme des Automatisierungsumfanges, wobei der absolute Instandhaltungsbedarf wesentlich von der Entwicklung der Gebrauchseigenschaften der Automatisierungstechnik abhängt
- Die Instandhaltungsorganisation ist den neuen Automatisierungssystemen der Anlagen-, Labor- und Büroautomatisierung entsprechend als komplexe Lösung zu gestalten. Die Schwerpunkte liegen dabei in der Beantwortung solcher Fragestellungen, wie der Konzentration und Spezialisierung der Instandhaltungskapazitäten. Als Instandhaltungsobjekte stehen gegenwärtig zur Diskussion:
  — BMSR-Technik
  — Prozeß- und Wartenrechentechnik
  — Meß- und Prüfautomaten
  — Steuerungstechnik für Fertigungsautomaten und Roboter
  — Automatisierungstechnik für Planung und Leitung mit der ökonomisch vorteilhaften Rechentechnik (Bürocomputer, rechnergestützte Arbeitsplätze für Forschung, Konstruktion und Projektierung).

  Abgrenzungen in der Verantwortlichkeit der technischen Instandhaltungsgewerke erfordern unter den gegenwärtigen Entwicklungsbedingungen neue Formulierungen. Bedeutung und Verantwortungsbereich des Instandhaltungsgewerkes Automatisierungstechnik wachsen absolut
- Die Herstellung von Automatisierungsmitteln mit hohen Gebrauchseigenschaften der Nutzung, wie
  — Instandhaltungseignung
  — Eigendiagnose
  — Möglichkeiten für technische Prophylaxe
  — Zuverlässigkeit

  ist eine Aufgabe von grundsätzlicher Bedeutung
- Bei der Projektierung von Automatisierungsanlagen gewinnt die Projektierung der o. g. Gebrauchseigenschaften der Nutzung für das Gesamtsystem zunehmend an Bedeutung.

Die Wahrnehmung einer wachsenden Verantwortung für den zukünftigen Instandhaltungsbedarf durch Hersteller und Projektanten bildet den Ausgangspunkt für eine effektive Instandhaltung der Automatisierungstechnik.

Literatur

[1] *Werner, G.-W.:* Systematische Schadensverhütung und -bekämpfung (SSVB). Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1983.
[2] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[3] *Müller, R.:* Projektierung von Automatisierungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
[4] Entwurf der KDT-Empfehlung „Kenngrößen für die Bewertung von Betreuungsaufwand und Kompliziertheitsgrad der BMSR-Technik in der chemischen Industrie der DDR (Außendienst)" des FUA Instandhaltung von BMSR-Geräten und -anlagen.

msr 7878

G. Hertel[1])

1kanaliges Warte- und Warte/Verlust-System mit stochastisch die Bedienung unterbrechenden Kanalausfällen

0. Einleitung

Die Intensivierung der Produktionsprozesse verlangt von den technologischen Wissenschaften eine stärkere mathematische Durchdringung der Zusammenhänge zwischen Belastung, Kapazität, Zuverlässigkeit und Leistung der technischen Systeme.
Eine wichtige Bedingung ist dabei der Abbau von Modellidealisierungen bzw. die wissenschaftliche Bestimmung ihrer Geltungsbereiche. Bei Bedienungssystemen ging man bis vor kurzem davon aus, daß die Unzuverlässigkeit der Bedienungskanäle keinen oder einen vernachlässigbar kleinen Einfluß auf die Qualität und Leistung der Bedienungsanlage ausüben würde [1] und [2].
In neuerer Zeit werden auch praktikable Lösungen für Bedienungssysteme mit störanfälligen Kanälen vorgestellt, die ihre Impulse aus dem Fernsprechwesen [3] bis [6] oder der Fertigungstechnik [7] erhielten. Die untersuchten Modelle sind ausschließlich Verlustsysteme der Bedienungstheorie.
Bezüglich einer Reihe 1kanaliger und sehr weniger 2kanaliger Wartesysteme stellt [8] eine interessante Monographie dar. Arbeiten zu Reihenanordnungen von Bedienungskanälen unter Beachtung ihrer Verfügbarkeit werden in [9] diskutiert. Über Lösungen und Ansätze zu Bedienungssystemen mit Beachtung des Störungs- und Instandhaltungsgeschehens sowie über Modellierungsmöglichkeiten informierten [10] und [11].
Bezüglich einkanaliger Systeme existieren nur Lösungen für reine Warte- und Verlustsysteme. Da in der Praxis reine Wartesysteme kaum vorkommen, interessieren besonders Lösungen für Systeme mit begrenztem Warteraum (Warte/Verlust-Systeme). Im Beitrag werden bekannte und bisher unbekannte Lösungen für Warte- und Warte/Verlust-Systeme vorgestellt.

1. Modellierung

1.1. *Technologische Voraussetzungen*

- Das Bedienungssystem besteht aus einem störanfälligen Kanal und $l (0 < l \leqq \infty)$ Warteplätzen.
- Der Bedienungskanal wird stochastisch gestört. Die Störung des Kanals entspricht einem Totalausfall des Systems. Eine von der Störung unterbrochene Bedienung wird nach Instandsetzungsende weitergeführt. Die betroffene Forderung verbleibt während der gesamten Ausfalldauer im Kanal.
- Es kann nur eine einzige Störung den Kanal blockieren, d. h., während der Ausfalldauer können keine weiteren Störungen eintreten.
- Ist der Kanal (durch die laufende Bedienung oder durch den Ausfall) blockiert, kann eine eintreffende Forderung einen der Warteplätze l einnehmen. Sind im Warte/Verlust-System alle Systemplätze $(l + 1)$ belegt, geht die Forderung verloren.
- Da der Störungsprozeß als belastungsunabhängig vorausgesetzt werden soll, können Störungen am arbeitenden und freien Kanal eintreten.

1.2. *Beispiele*

- Ein von A nach B verkehrender Eisenbahnzug wird als Forderung, das Streckengleis als Bedienungskanal, die im Bahnhof A vorhandenen Aufstellgleise als Warteplätze aufgefaßt. Die möglicherweise auftretenden Störungen (Fahrdrahtschäden, Weichenstörungen in Unterwegsbahnhöfen, Signalstörungen u. ä.) unterbrechen den Zuglauf. Der Zug setzt nach Instandsetzungsende die Fahrt fort.
- Allgemein sind Transportsysteme Bedienungssysteme, bei denen Störungen an Kanälen auf die Bedienungshandlung unterbrechend wirken (Straßenverkehr mit unvorhergesehener Sperrung der Fahrbahn, spurgebundener Verkehr mit Ausfällen der Gleis-, Sicherungs- oder Stromversorgungsanlagen, Rohrtransporte mit Ausfällen des Leitungssystems).

1.3. *Mathematische Voraussetzungen und Bezeichnungen*

- Der eintreffende Forderungenstrom ist ein Poissonscher Strom, so daß die Ankunftsabstände exponentiell mit Parameter λ_B verteilt sind.
- Bedienungs-, Lebens- und Ausfalldauern des Kanals sind voneinander unabhängige, exponentiell mit den Parametern μ_B, λ_Z und μ_Z verteilte Zufallsgrößen X, Y und Z. Die Zufallsgrößen X, Y, Z sind auch vom eintreffenden Forderungenstrom unabhängig.
- Entsprechend [11] werden das Wartesystem mit $M/M/1_B - M/M/1_Z$ und das Warte/Verlust-System mit $M/M/1_B/l - M/M/1_Z$-System mit stochastisch unterbrechenden Störungen bezeichnet.
- Der Verkehrswert sei $\varrho_B = \lambda_B/\mu_B$, der Störungswert $\varrho_Z = \lambda_Z/\mu_Z$ und der Niveauunterschied zwischen Bedienungs- und Instandsetzungsprozeß sei analog [8] $\nu = \mu_B/\mu_Z$.
- Die stationären Zustandswahrscheinlichkeiten werden mit $P_{i,j}$ $(i = 0, 1, 2, \ldots, l + 1; j = 0, 1)$ bezeichnet, ihre Randverteilungen mit

$$P_{.,0} = \sum_i P_{i,0} ,$$

$$P_{.,1} = \sum_i P_{i,1} .$$

Damit ist $P_{.,0}$ die Wahrscheinlichkeit für den funktionsfähigen und $P_{.,1}$ diejenige für den ausgefallenen Kanal.
- Die Wahrscheinlichkeit, daß sich im System genau i Forderungen im gestörten oder ungestörten Kanal aufhalten, ist

$$P_{i,0} + P_{i,1} = P_{i,.} .$$

1.4. *Erläuterung des allgemeinen Modells*

Das System kann bezüglich der im System verweilenden Forderungen die Zustände $\{0, 1, 2, \ldots, l + 1\}$ mit $0 < l \leqq \infty$ und bezüglich seiner Verfügbarkeit die Zustände $\{0, 1\}$ einnehmen. Allgemein kann man also mit der Zustandsbezeichnung (i, j) eindeutig das System fixieren, indem $j = 0$ bzw. $j = 1$ die Zustände der Verfügbarkeit bzw. Nichtverfügbarkeit und $i = 0, 1, 2, \ldots, l + 1$ die im System verweilenden Forderungen bezeichnet. Die Übergänge sind nur zwischen benachbarten Zuständen möglich. Den Markov-Graph zeigt Bild 1.
Hier im Beitrag werden nur zeitabhängige (d. h. belastungsunabhängige) Störungen behandelt $(c = 0)$, aber k sowohl $k = 1$ als auch $k = 0$ gesetzt.

2. Lösungen für das $M/M/1_B - M/M/1_Z$-Wartesystem mit unterbrechenden Störungen $(c = 0; k = 0)$

2.1. *Voraussetzungen*

Alle unter Abschn. 1. genannten Voraussetzungen und Bezeichnungen gelten. Zusätzlich gilt die Einschränkung, daß die Störungseintritte nicht an den Belegungszustand des Kanals ge-

Bild 1. Markov-Graph für ein 1kanaliges Bedienungssystem mit stochastisch unterbrechenden Störungen

$k = 0$ Wartesystem
$k = 1$ Warte/Verlust-System mit l Warteplätzen
$c = 0$ Kanal fällt zeitabhängig aus
$c = 1$ Kanal fällt belastungsabhängig aus (Zustand (0,1) entfällt)

[1]) Dr.-Ing. *Günter Hertel* (35) studierte nach einer Lehrausbildung als Betriebs- und Verkehrseisenbahner bei der Deutschen Reichsbahn von 1966 bis 1971 an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" (HfV) Transporttechnik. 1971 bis 1974 Forschungsstudium am dortigen Lehrstuhl für Verkehrssicherungstechnik und anschließende Promotion A auf dem Fachgebiet „Grundlagen der Transporttechnologie". 1974 bis 1975 Mitarbeiter der Reichsbahndirektion Dresden, Abt. Betriebstechnik, und von 1975 bis 1980 bei der Obersten Bauleitung für Automatisierung und Elektrifizierung der Deutschen Reichsbahn. Seit 1980 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HfV in den Lehr- und Forschungsgebieten Zuverlässigkeits- und Bedienungstheorie.

bunden seien ($c = 0$). Wegen der Betrachtung eines Wartesystems ist die Warteplatzanzahl unbegrenzt hoch ($k = 0$).

2.2. *Beispiel*

Ein Streckengleis zwischen den Bahnhöfen A und B sei der Bedienungskanal. Die Züge als Forderungen werden sich im Störungsfall im Bahnhof A sowie vorgelagerten Strecken und Bahnhöfen (also praktisch unbegrenzt) stauen können. Die Störungen an den Gleis-, Fahrleitungs- und Sicherungsanlagen können sowohl während der Zugfahrt als auch bei unbelegtem Streckengleis auftreten. Sie wirken auf den Zuglauf unterbrechend, da der Zug die Strecke A—B passieren muß.

2.3. *Lösung nach* [8]

Die Lösungen der Kolmogorovschen Gleichungen gibt *Kistner* [8] in geschlossener Form an:

$$P_{0,0} = \frac{1 - \varrho_B(1 + \varrho_Z)}{1 + \varrho_Z} \tag{1}$$

$$P_{.,0} = \frac{1}{1 + \varrho_Z} \tag{2}$$

$$P_{.,1} = \frac{\varrho_Z}{1 + \varrho_Z} . \tag{3}$$

Die mittlere Zahl der im störanfälligen System verweilenden Forderungen L_{Vg} ist

$$L_{Vg} = \frac{\varrho_B\left(1 + \varrho_Z + \frac{\varrho_Z \cdot \nu}{1 + \varrho_Z}\right)}{1 - \varrho_B(1 + \varrho_Z)} . \tag{4}$$

In [8] werden auch geschlossene Lösungen für die stationären Zustandswahrscheinlichkeiten $P_{i,j}$ angenommen, die allerdings nur rechentechnisch auswertbar sind.

2.4. *Bestimmung einer zusätzlichen Stationaritätsbedingung*

Faßt man die Zustände $P_{.,1}$ als Dauer-Nichtverfügbarkeit des Kanals auf, also

$$P_{.,1} = \overline{V}_D , \tag{5}$$

so läßt sich zunächst aus (5) und (4) eine zusätzliche Stationaritätsbedingung ableiten, da der Nenner aus (4) größer Null sein muß:

$$1 - \varrho_B(1 + \varrho_Z) > 0 .$$

Unter Beachtung von (3) und (5) ergeben sich folgende Stationaritätsbedingungen:

$$V_D > \varrho_B , \tag{6}$$

$$\varrho_B < 1 . \tag{7}$$

Während (7) die bekannte Stationaritätsbedingung für 1kanalige Wartesysteme ist, stellt die Bedingung (6) explizite Forderungen an die Verfügbarkeit V_D. Für das einkanalige Wartesystem mit unterbrechenden belastungsunabhängigen Störungen ergibt sich zusammengefaßt folgende Stationaritätsbedingung:

$$\varrho_B < V_D < 1 . \tag{8}$$

Bedingung (8) bedeutet, daß die Wahrscheinlichkeit für die Arbeitsfähigkeit zwar kleiner 1 ist, aber größer als die Besetztwahrscheinlichkeit des Kanals sein muß, weil ansonsten die Warteschlange über alle Grenzen wachsen würde. In diesem Sinne ist (8) das für das störanfällige 1kanalige Wartesystem geltende Stabilitätskriterium.

2.5. *Berechnung einer zulässigen Dauer-Nichtverfügbarkeit* $\overline{V}_{D\,zul}$

Die zulässige obere Grenze der Dauer-Nichtverfügbarkeit wird durch den in [12] verwendeten Ansatz berechnet:
Soll der durch den Störungs- und Instandhaltungsprozeß hervorgerufene mittlere relative Zuwachs der im System verweilenden Forderungen maximal das ε-fache gegenüber dem ungestörten Fall betragen, gilt:

$$L_{Vg} - L_{Vu} \leqq \varepsilon \cdot L_{Vu} . \tag{9}$$

L_{Vg} mittlere Anzahl der im stochastisch gestörten System verweilenden Forderungen
L_{Vu} mittlere Anzahl der im ungestörten System verweilenden Forderungen

Die obere Grenze $\overline{V}_{D\,zul}$ ist mit $L_{Vg} \leqq L_{Vu}(1 + \varepsilon)$ aus (4) bzw. unter Beachtung von (3) und (5) und L_{Vu} aus der bekannten Beziehung für das 1kanalige Wartesystem mit absolut zuverlässigem Kanal

$$L_{Vu} = \frac{\varrho_B}{1 - \varrho_B} \quad [2] \tag{10}$$

zu berechnen.
Nach einigen Umstellungen ergibt sich eine quadratische Gleichung in $\overline{V}_D$, deren Wurzelzeichen unter Beachtung von (6) eindeutig wird:

$$\left.\begin{aligned} &\overline{V}_{D\,zul} = A - \sqrt{A^2 - B} \\ &\text{mit} \\ &A = \frac{1}{2} + \frac{1 + \varepsilon}{2\nu(1 - \varrho_B)} \quad \text{und} \quad B = \frac{\varepsilon}{\nu} . \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

Damit hängt die zulässige obere Grenze der Dauer-Nichtverfügbarkeit nur noch von dem Verkehrswert ϱ_B, dem Niveauunterschied ν und dem vorzugebenden zulässigen — durch den Störungs- und Instandhaltungsprozeß bedingten — relativen Zuwachs ε der Schlangenlänge L_V ab. Die numerische Auswertung von (11) erfolgte in Tafel 1 und Bild 2.

2.6. *Variationskoeffizient* $V(l_{Vg})$ *und Spitzenfaktor* $\psi_\alpha(l_{Vg})$ *der Schlangenlänge* l_{Vg}

Die Bedeutung des Variationskoeffizienten und des Spitzenfaktors bei Dimensionierungsproblemen wurden in [1] und [13] und für Bedienungssysteme besonders in [14] unterstrichen. Da für die technologische Projektierung die ausschließliche Benutzung der Erwartungswerte für solche Größen, wie Wartezeit, Durchlaufzeit und Schlangenlänge vor dem Bedienungskanal nicht ausreichend erscheint, wurden in [14] die beiden Streuungsmaße Variationskoeffizient und Spitzenfaktor für die Bemessung empfohlen. Der Variationskoeffizient als Quotient von Standardabweichung und Erwartungswert ist ein Maß für die Stärke der

Tafel 1. $M/M/1_B$-$M/M/1_Z$**-Wartesystem mit zeitabhängigen unterbrechenden Störungen; obere Grenze der Dauer-Nichtverfügbarkeit** $\overline{V}_{D\,zul}$ **in Abhängigkeit vom Verkehrswert** ϱ_B'**, dem Niveauunterschied** ν **und dem relativen Schlangenlängenzuwachs** ε

$\overline{V}_{D\,zul}$	$\varepsilon = 10\%$	$\varepsilon = 20\%$	$\varepsilon = 50\%$	$\varepsilon = 70\%$	$\varepsilon = 100\%$	$\varepsilon = 150\%$	$\varepsilon = 200\%$
$\varrho_B = 0{,}9; \nu = 1$	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	$3{,}1 \cdot 10^{-2}$	$3{,}9 \cdot 10^{-2}$	$4{,}8 \cdot 10^{-2}$	$5{,}8 \cdot 10^{-2}$	$6{,}5 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}7; \nu = 1$	$2{,}2 \cdot 10^{-2}$	$4{,}0 \cdot 10^{-2}$	$8{,}4 \cdot 10^{-2}$	0,11	0,15	0,16	0,18
$\varrho_B = 0{,}5; \nu = 1$	$3{,}2 \cdot 10^{-2}$	$6{,}0 \cdot 10^{-2}$	0,13	0,17	0,21	0,26	0,30
$\varrho_B = 0{,}9; \nu = 10$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$9{,}1 \cdot 10^{-3}$	$2{,}0 \cdot 10^{-2}$	$2{,}6 \cdot 10^{-2}$	$3{,}4 \cdot 10^{-2}$	$4{,}3 \cdot 10^{-2}$	$5{,}1 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}7; \nu = 10$	$7{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$3{,}4 \cdot 10^{-2}$	$4{,}6 \cdot 10^{-2}$	$6{,}2 \cdot 10^{-2}$	$8{,}6 \cdot 10^{-2}$	0,11
$\varrho_B = 0{,}5; \nu = 10$	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	$4{,}0 \cdot 10^{-2}$	$5{,}4 \cdot 10^{-2}$	$7{,}6 \cdot 10^{-2}$	0,11	0,14
$\varrho_B = 0{,}9; \nu = 35$	$2{,}2 \cdot 10^{-3}$	$4{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	$3{,}1 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}7; \nu = 35$	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$	$5{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	$3{,}6 \cdot 10^{-2}$	$4{,}6 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}5; \nu = 35$	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$	$5{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$	$2{,}6 \cdot 10^{-2}$	$3{,}9 \cdot 10^{-2}$	$5{,}1 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}9; \nu = 75$	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$2{,}3 \cdot 10^{-3}$	$5{,}6 \cdot 10^{-3}$	$7{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}7; \nu = 75$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$	$6{,}3 \cdot 10^{-3}$	$8{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$2{,}4 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}5; \nu = 75$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$	$6{,}5 \cdot 10^{-3}$	$9{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}9; \nu = 100$	$9{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$4{,}4 \cdot 10^{-3}$	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	$8{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}7; \nu = 100$	$9{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$6{,}7 \cdot 10^{-3}$	$9{,}5 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$
$\varrho_B = 0{,}5; \nu = 100$	$9{,}8 \cdot 10^{-4}$	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$6{,}8 \cdot 10^{-3}$	$9{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$

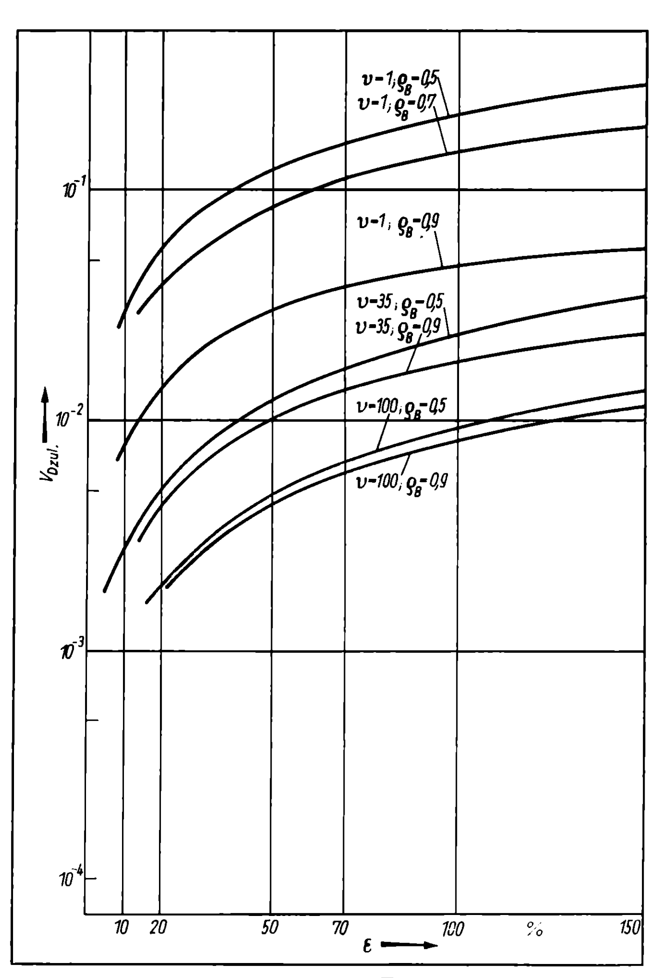


Bild 2. Zulässige Dauer-Nichtverfügbarkeit $\bar{V}_{D\,zul}$ im Abhängigkeit vom störungsbedingten Schlangenlängenzuwachs ε im $M/M/1_B$-$M/M/1_Z$-Wartesystem mit zeitabhängigen, unterbrechenden Störungen

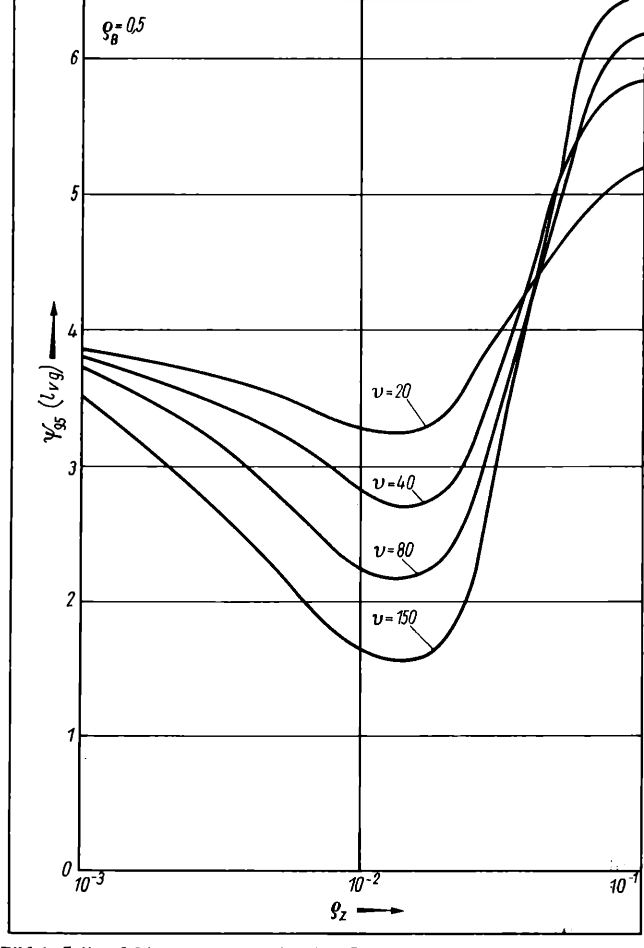


Bild 4. Spitzenfaktor $\psi_{95}(l_{Vg})$ der im $M/M/1_B$-$M/M/1_Z$-Wartesystem mit zeitabhängigen, unterbrechenden Störungen verweilenden Forderungen in Abhängigkeit vom Störungswert ϱ_Z und dem Niveauunterschied ν

Abweichung aller Realisationen vom Mittelwert und gibt einen Hinweis auf zu erwartende untere und obere Grenzen der Zufallsgröße sowie auf ihre Verteilung an. Der Spitzenfaktor ist die mit statistischer Sicherheit α nicht überschrittene obere Grenze, bezogen auf den Mittelwert der Zufallsgröße. Seine Verwendung gestattet, das der Bemessung zugrunde gelegte Risiko $1 - \alpha$ explizit anzugeben. Ausführliche Berechnungen und Anwendungen für Bedienungssysteme mit absolut zuverlässigen Kanälen sind in [14] enthalten. Analog [14] ergibt sich der Variationskoeffizient der im störanfälligen System verweilenden Forderungen $V(l_{Vg})$ zu:

$$V(l_{Vg}) = \frac{1}{L_{Vg}} \sqrt{\sum_{i=0}^{\infty} (i - L_{Vg})^2 \cdot P_i,} \quad (12)$$

und der Spitzenfaktor derselben Größe:

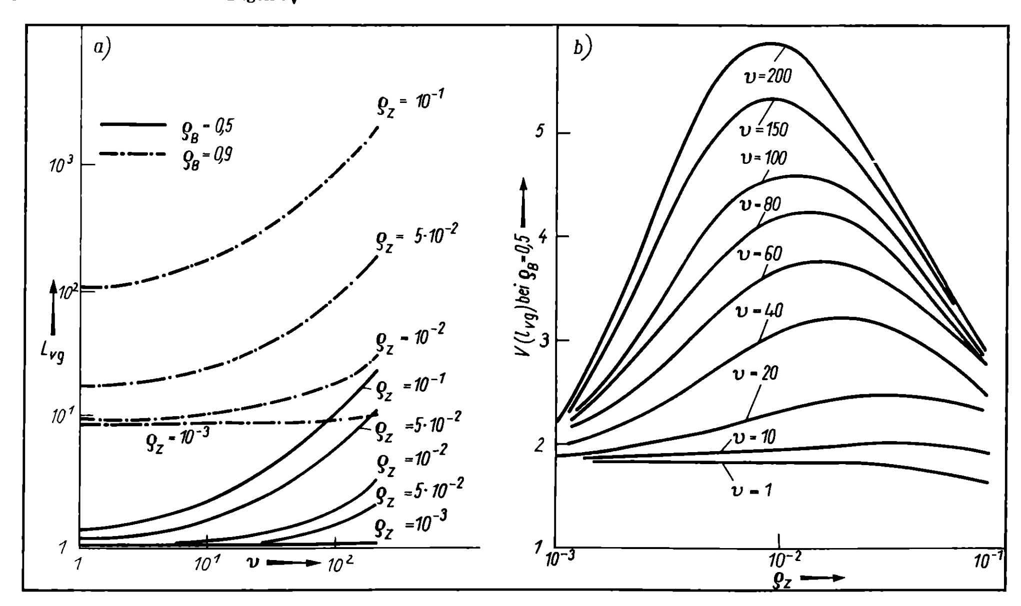
$$\psi_\alpha(l_{Vg}) = \frac{l_{Vg,\,sup,\,\alpha}}{L_{Vg}}\,, \quad (13)$$

wobei $l_{Vg,sup,\alpha}$ die obere Grenze der im störanfälligen System verweilenden Forderungen darstellt, die mit Wahrscheinlichkeit α nicht überschritten wird.

Bild 3. Kenngrößen zur Anzahl der im System verwendeten Forderungen l_V

a) Mittlere Anzahl der im System verweilenden Forderungen L_{Vg} im $M/M/1_B - M/M/1_Z$-Wartesystem mit zeitabhängigen, unterbrechenden Störungen in Abhängigkeit vom Störungswert ϱ_Z und dem Niveauunterschied ν;

b) Variationskoeffizienten $V(l_{Vg})$ der im $M/M/1_B - M/M/1_Z$-Wartesystem mit zeitabhängigen, unterbrechenden Störungen verweilenden Forderungen in Abhängigkeit vom Störungswert ϱ_Z und dem Niveauunterschied ν



Tafel 2. Spitzenfaktor φ_{95} (l_V) und Variationskoeffizient $V(l_V)$ der im $M/M/1$-Wartesystem mit absolut zuverlässigem Kanal verweilenden Forderungen

ϱ_B	$\psi_{95}(l_V)$	$V(l_V)$
0,5	3,32	1,41
0,7	3,17	1,20
0,9	3,05	1,05

Zur numerischen Berechnung von (12) und (13) benötigt man die $P_{i,.}(0 \leqq 1 \leqq n_{max})$, wobei n_{max} ein sinnvolles Abbruchkriterium darstellt, das so gewählt wurde, daß

$$\sum_{i=0}^{n_{max}} P_{i,.} \geqq 0{,}9999 .$$

Während somit $V(l_{Vg})$ direkt in Anwendung (12) zu berechnen ist, muß man für $\psi_\alpha(l_{Vg})$ die Beziehung [13]

$$P_{0,.} + P_{1,.} + P_{2,.} + \dots + P_{l_{Vg,sup,\alpha}} = \alpha \tag{14}$$

benutzen und $l_{Vg,sup,\alpha}$ entweder in geschlossener Form — wie in [13] für $M/M/s$-Wartesysteme und in [14] für $M/M/s$-Warte/Verlust-Systeme und das $E_k/M/1$-Wartesystem — oder in iterativer Form berechnen, wie es für das $M/M/1_B - M/M/1_Z$-Wartesystem mit belastungsunabhängigen, unterbrechenden Störungen durchgeführt wurde.
Dazu wurden die von [8] gefundenen komplizierten Ausdrücke für die $P_{i,j}$ rechentechnisch ausgewertet und mit (12), (13) und (14) kombiniert.
Die Ergebnisse sind in den Bildern 3 und 4 ablesbar. Zum Vergleich seien die entsprechenden Werte für das System mit absolut zuverlässigem Kanal in Tafel 2 aufgeführt [14, Tafel 4]. Sie lassen sich auch leicht aus den Beziehungen (15) und (16) nach [14] berechnen:

$$V(l_{Vu}) = \frac{1}{\sqrt{\varrho_B}} , \tag{15}$$

$$\psi_\alpha(l_{Vu}) = \frac{1 - \varrho_B}{\varrho_B \ln \varrho_B} \cdot \ln \frac{1 - \alpha}{\varrho_B} . \tag{16}$$

3. Lösung für das $M/M/1_B/l - M/M/1_Z$-Warte-/Verlust-System

3.1. *Voraussetzungen*

Es gelten alle Voraussetzungen nach Abschn. 1. Zusätzlich wird die Warteplatzanzahl als endliche ganze Zahl l angenommen $(0 < l < \infty)$. Die Störungen können weiterhin am arbeitenden und freien Kanal eintreten. Im Modell nach Bild 1 sind demzufolge $c = 0$ und $k = 1$ zu setzen.

3.2. *Beispiel*

Im Streckenabschnitt A—B einer Rollenbahn zum Transport von Paletten können stochastische Störungen an den Transportelementen eintreten, die zu Unterbrechungen der Beförderung der Paletten führen. Da die Staustrecken meist nicht sehr lang sind, werden nach Belegung aller l Warteplätze auf der Transportkette weitere zulaufende Paletten nicht mehr angenommen. Sie werden beispielsweise in ein Zwischenlager dirigiert. Die Störungen können unabhängig von der Belegung der Transportelemente eintreten.

3.3. *Lösung der Kolmogorovschen Gleichungen*

Das Modell nach Bild 1 mit $c = 0$ und $k = 1$ wurde für $l = 1$, 2, 3 in geschlossener Form gelöst. Eine allgemeine Lösung für beliebige l in geschlossener Form konnte nicht gefunden werden, dafür aber eine Rekursionslösung, die nunmehr vorgestellt wird.
Die stationären Zustandswahrscheinlichkeiten $P_{i,j}$ für $i = 0, 1, 2, \dots, l + 1$ und $j = 0, 1$ ergeben sich aus (17):

$$P_{i,0} = \varrho_B \cdot P_{i-1,.} \quad \text{für} \quad 1 \leqq i \leqq l + 1 , \tag{17a}$$

$$P_{i,1} = \frac{\varrho_B \cdot \nu}{x} \left[\left(1 + \frac{\varrho_Z}{\nu}\right) P_{i-1,.} - \varrho_B \cdot P_{i-2,.} \right] \tag{17b}$$

für $2 \leqq i \leqq l + 1$ mit

$x = 1$ für $i = l + 1$

$x = 1 + \varrho_B \cdot \nu$ für übrige i und $l \geqq 1$

$$P_{1,1} = \frac{\varrho_B \varrho_Z}{1 + \varrho_B \cdot \nu} \left[1 + \frac{\nu}{1 + \varrho_B \cdot \nu + \varrho_Z} \right] P_{0,.} , \tag{17c}$$

$$P_{0,1} = \frac{\varrho_Z}{1 + \varrho_B \cdot \nu + \varrho_Z} \cdot P_{0,.} . \tag{17d}$$

Die Wahrscheinlichkeit $P_{0,.} = P_{0,0} + P_{0,1}$ ergibt sich aus der Normierungsbedingung

$$\sum_{i=0}^{l+1} P_{i,.} = 1 . \tag{17e}$$

Mit den Beziehungen (17) kann man sämtliche Zustandswahrscheinlichkeiten $P_{i,j}$ berechnen. Die Herleitung von (17) erfolgt im Abschn. 3.4. Ist man im einzelnen nicht interessiert, ob der Kanal gerade verfügbar ist oder nicht, genügt es, jeweils die Summe $P_{i,0} + P_{i,1} = P_{i,.}$ $(0 \leqq i \leqq l + 1)$ zu betrachten, und man gelangt zu einfacheren Rekursionsvorschriften:

$$P_{1,.} = \varrho_B \frac{(1 + \varrho_B \cdot \nu + \varrho_Z)^2 + \varrho_Z \cdot \nu}{(1 + \varrho_B \cdot \nu)(1 + \varrho_B \cdot \nu + \varrho_Z)} \cdot P_{0,.} , \tag{18a}$$

$$P_{i,.} = \frac{\varrho_B}{1 + \varrho_B \nu} \times$$

$$\times \{[1 + \varrho_Z + (1 + \varrho_B)\nu] P_{i-1,.} - \varrho_B \nu \cdot P_{i-2,.}\} \tag{18b}$$

für $2 \leqq i < l + 1$ und $l \geqq 1$

$$P_{i,.} = \varrho_B[(1 + \varrho_Z + \nu) P_{i-1,.} - \varrho_B \nu P_{i-2,.}] \tag{18c}$$

für $i = l + 1$ mit $l \geqq 1$.
Mit (18) erhält man die übrigen interessierenden Größen für störanfällige Warte/Verlust-Systeme zu

$$L_{Vg} = \sum_{i=0}^{l+1} i \cdot P_{i,.} , \tag{19}$$

die Wartewahrscheinlichkeit P_{Wg} zu

$$P_{Wg} = \sum_{i=1}^{l+1} P_{i,.} , \tag{20}$$

die Verlustwahrscheinlichkeit $P_{verl\,g}$ zu

$$P_{verl\,g} = P_{l+1,.} , \tag{21}$$

die mittlere Warteschlangenlänge L_{Wg} zu

$$L_{Wg} = \sum_{i=1}^{l+1} (i - 1) \cdot P_{i,.} \tag{22}$$

und die Dauerverfügbarkeit V_D aus

$$V_D = P_{.,0} = (1 + \varrho_Z)^{-1} . \tag{23}$$

3.4. *Herleitung der Gleichungen für die Zustandswahrscheinlichkeiten*

Um (17) herzuleiten, wurde der Zustandsgraph nach Bild 1 analysiert. Es ergeben sich bez. abgehender und ankommender Übergänge folgende Klassen von Zuständen:
Zustand (0, 0), Zustand (0, 1), Zustand $(l + 1, 0)$, Zustand $(l + 1, 1)$ — also die vier Randzustände — und Zustände $(i, 0)$ und $(i, 1)$ für alle Zwischenzustände mit $1 < i < l + 1$.
Während der Berechnung zeigte sich, daß man den Zustand (1, 1) noch besonders betrachten muß, während der Zustand $(l + 1, 0)$ wie ein Zustand $(i, 0)$ zu behandeln ist.

3.4.1. Herleitung für den Zustand (0, 1)

Entsprechend Bild 5 erhält man:

$$P_{0,1} = \frac{\lambda_Z}{\lambda_B + \mu_Z} \cdot P_{0,0} = \frac{\varrho_Z}{1 + \varrho_B \nu} \cdot P_{0,0} . \tag{24}$$

Die Wahrscheinlichkeit $P_{0,.} = P_{0,0} + P_{0,1}$ ergibt sich dann zu

$$P_{0,.} = \left(1 + \frac{\varrho_Z}{1 + \varrho_B \nu}\right) \cdot P_{0,0} . \tag{25}$$

3.4.2. Aussage zu einem Zwischenzustand $(i, 0)$

Die Wahrscheinlichkeit $P_{i,0}$ $(1 \leqq i < l)$ ist zunächst allgemein herleitbar. Es wurden die Fälle des $M/M/1$-Warte/Verlust-Systems mit unterbrechenden, zeitabhängigen Störungen für $l = 1, 2, 3$ Warteplätze analytisch und für $l = 4, 5, 6$ Warteplätze numerisch untersucht, wobei stets die Struktur eines Zustandes $(i, 0)$ entsprechend Bild 1 gleichblieb.
Es zeigte sich die auch aus dem Zustandsgraphen plausible sehr einfache Beziehung, die für alle i, $1 \leqq i \leqq l + 1$ Gültigkeit hat:

$$P_{i,0} = \varrho_B(P_{i-1,0} + P_{i-1,1}) = \varrho_B \cdot P_{i-1,.} . \tag{26}$$

3.4.3. Herleitung für den Zustand (1, 1)

Aus Bild 6 erkennt man:

$$(\lambda_B + \mu_Z) P_{1,1} = \lambda_Z P_{1,0} + \lambda_B P_{0,1} . \tag{27}$$

Wegen (24) und (25) wird (27) zu

$$(\lambda_B + \mu_Z) P_{1,1} = \lambda_Z P_{1,0} + \frac{\lambda_B \lambda_Z}{\lambda_B + \mu_Z} \cdot \frac{1 + \varrho_B \cdot \nu}{1 + \varrho_B \nu + \varrho_Z} \cdot P_{0,.} .$$

Wegen (26) wird $P_{1,0} = \varrho_B \cdot P_{0,.}$, in (27) eingesetzt ergibt sich:

$$(\lambda_B + \mu_Z) P_{1,1} = \frac{\lambda_B \lambda_Z}{\mu_B} P_{0,.} +$$

$$+ \frac{\lambda_B \lambda_Z}{\lambda_B + \mu_Z} \cdot \frac{1 + \varrho_B \cdot \nu}{1 + \varrho_B \nu + \varrho_Z} \cdot P_{0,.} . \tag{28}$$

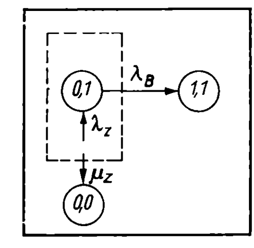
Zusammengefaßt und nach $P_{1,1}$ aufgelöst findet man:

$$P_{1,1} = \frac{\varrho_B \varrho_Z}{1 + \varrho_B \cdot \nu} \left(1 + \frac{\nu}{1 + \varrho_B \nu + \varrho_Z}\right) \cdot P_{0,.} . \tag{29}$$

3.4.4. Herleitung für den Zustand $(l + 1, 1)$

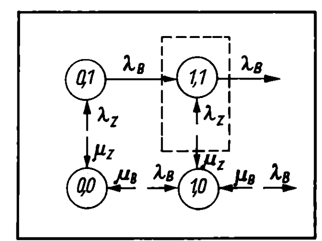
Aus Bild 7 erkennt man:

$$\lambda_B P_{l,1} + \lambda_Z P_{l+1,0} = \mu_Z \cdot P_{l+1,1} . \tag{30}$$



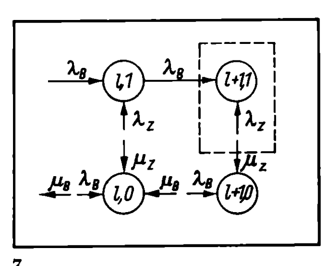
5

Bild 5. Ausschnitt aus Bild 1 für Zustand (0,1)



6

Bild 6. Ausschnitt aus dem Bild 1 für Zustand (1,1)



7

Bild 7. Ausschnitt aus Bild 1 für Zustand $(l+1{,}1)$

Wegen (26) ist $P_{l+1,0} = \frac{\lambda_B}{\mu_B} \cdot P_{l,\cdot}$. (31)

Mit $P_{l,\cdot} = P_{l,1} + P_{l,0}$ wird (30) zu

$$\lambda_B(P_{l,\cdot} - P_{l,0}) + \lambda_Z \cdot \frac{\lambda_B}{\mu_B} \cdot P_{l,\cdot} = \mu_Z P_{l+1,1} ,$$

$$\left(\lambda_B + \lambda_Z \cdot \frac{\lambda_B}{\mu_B}\right) P_{l,\cdot} - \frac{\lambda_B}{\mu_B} P_{l-1,\cdot} = \mu_Z P_{l+1,1} .$$

Nach Umstellung und Zusammenfassung ergibt sich:

$$P_{l+1,1} = \varrho_B \cdot \nu \left[\left(1 + \frac{\varrho_Z}{\nu}\right) P_{l,\cdot} - \varrho_B P_{l-1,\cdot}\right] \quad \text{für} \quad l \geqq 1 . \quad (32)$$

3.4.5. Herleitung für Zwischenzustände $(i, 1)$

Die Herleitung der Zustandswahrscheinlichkeiten $P_{i,1}$ $(1 < i < l + 1)$ erfolgt nach Bild 1:

$$(\lambda_B + \mu_Z) P_{i,1} = \lambda_B P_{i-1,1} + \lambda_Z P_{i,0} . \quad (33)$$

Wegen (26) wird (33)

$$(\lambda_B + \mu_Z) P_{i,1} = \lambda_B(P_{i-1,\cdot} - P_{i-1,0}) + \frac{\lambda_B \lambda_Z}{\mu_B} P_{i-1,\cdot} = \left(\lambda_B + \frac{\lambda_B\lambda_Z}{\mu_B}\right) P_{i-1,\cdot} - \lambda_B P_{i-1,0} .$$

Unter nochmaliger Anwendung von (26) auf $P_{i-1,0}$ und Umstellung sowie Zusammenfassung ergibt sich schließlich

$$P_{i,1} = \frac{\varrho_B \nu}{1 + \varrho_B \nu} \left[\left(1 + \frac{\varrho_Z}{\nu}\right) P_{i-1,\cdot} - \varrho_B P_{i-2,\cdot}\right] \quad (34)$$

für $1 < i < l + 1$ und $l \geqq 1$.

4. Praktische Aussagen

4.1. *Vergleich der Berechnungsverfahren*

Für das Wartesystem existieren geschlossene Lösungen für die Erwartungswerte der Schlangenlänge L_V bzw. der Warteschlangenlänge L_W sowie für die stationären Zustandswahrscheinlichkeiten nach [8]. Während die Mittelwerte ohne weiteres manuell berechnet werden können, sind die Zustandswahrscheinlichkeiten und damit Variationskoeffizient und Spitzenfaktor nur rechentechnisch lösbar. Für alle interessierenden Werte, insbesondere der zulässigen Nichtverfügbarkeit in Abhängigkeit vom zugelassenen störungsbedingten Zuwachs an Schlangenlänge, werden in diesem Beitrag Tafeln und Bilder geliefert, die ohne bedienungstheoretische Kenntnisse sofort anwendbar sind.

Für das gleiche System mit begrenzter Warteschlangenlänge, konnten nur für kleine Warteplatzzahl (l = 1, 2, 3) geschlossene analytische Lösungen gefunden werden. Für beliebiges l wird eine Rekursionslösung angeboten, die gegenüber einer geschlossenen Lösung i. allg. schlechter, einer numerischen Lösung des linearen homogenen Gleichungssystems jedoch besser einzuschätzen ist. Der Formelapparat (18) ist für Einzelbeispiele mit Taschenrechner leicht zu bewältigen.

4.2. *Einfluß des Störungs- und Instandhaltungsprozesses auf die Verhältnisse am Systemeingang*

Folgende Planungsregeln kann man aus den Ergebnissen des Wartesystems ableiten:

- Für Verkehrswerte $\varrho_B \leqq 0{,}5$ bewirken Störungswerte $\varrho_Z \leqq 0{,}1$ keine spürbare Erhöhung von L_V, solange der Niveauunterschied $\nu < 10$ bleibt. Gleiches ist zum Spitzenfaktor und Variationskoeffizient zu sagen
- Für $0{,}5 < \varrho_B \leqq 0{,}7$ bewirken Störungswerte $\varrho_Z > 5 \cdot 10^{-2}$ eine nicht zu vernachlässigende Erhöhung von L_V, wenn $\nu \geqq 10$ ist. Gleiches gilt für Spitzenfaktor und Variationskoeffizient
- Für $0{,}7 < \varrho_B \leqq 0{,}9$ bewirken bereits Störungswerte $\varrho_Z > 10^{-2}$ bei $\nu \geqq 10$ eine nennenswerte Erhöhung von L_V, ebenso des Spitzenfaktors und Variationskoeffizienten.
- Für kleine ν liegen die Spitzenfaktoren und Variationskoeffizienten der Schlangenlänge in der Größenordnung für ideale Systeme (ohne Störungen). Das berechtigt in Zusammenhang mit der ersten Regel für Verkehrswerte $\varrho_B \leqq 0{,}5$ und $\varrho_Z \leqq 0{,}1$ sowie $\nu < 10$, die Berechnungsregeln für ideale Systeme zu verwenden
- Für $\nu \geqq 10$ steigen mit wachsendem ν die L_{Vg}, $\psi_\alpha(l_{Vg})$, $V(l_{Vg})$ desto schneller an, je höher ϱ_B liegt
- Man kann generell sagen, daß man bei $\varrho_B > 0{,}5$ und $\nu > 10$ den Störungs- und Instandhaltungsprozeß bei der Dimensionierung des Bedienungssystems berücksichtigen muß.

Die letzte Aussage gewinnt insbesondere deshalb an Bedeutung, weil Wartesysteme in praxi meist höhere Verkehrswerte als 0,5 aufweisen und weil der Niveauunterschied ν als Quotient von mittlerer Instandsetzungszeit zu mittlerer Bedienungszeit mit $\nu = 10$ wohl eine praktisch untere Grenze hat, die in vielen Fällen weit überschritten wird.

Planungsregeln für das Warte-Verlustsystem mit begrenzter Warteschlangenlänge können noch nicht mitgeteilt werden. Die Gleichungen (17) und (18) bedürfen noch der Auswertung.

Zusammenstellung der verwendeten Symbole

λ_B	Ankunftsrate der Forderungen
μ_B	Bedienungsrate des Kanals
λ_Z	Ausfallrate des Kanals
μ_Z	Instandsetzungsrate
ϱ_B	Verkehrswert = λ_B/μ_B
ϱ_Z	Störungswert = λ_Z/μ_Z
ν	Niveauunterschied zwischen Bedienungs- und Instandhaltungsprozeß μ_B/μ_Z
l_V	im System verweilende Forderung
L_V	mittlere Zahl von l_V
l_{Vg}	im störanfälligen System verweilende Forderungen
L_{Vg}	mittlere Zahl von l_{Vg}
$l_{Vg\,sup.\alpha}$	obere Grenze von l_{Vg}, die mit Wahrscheinlichkeit α nicht überschritten wird
l_{Vu}	im System mit absolut zuverlässigem Kanal verweilende Forderungen
L_{Vu}	mittlere Zahl von l_{Vu}
$V(l_{Vg})$	Variationskoeffizient von l_{Vg}
$\psi_\alpha(l_{Vg})$	Spitzenfaktor von l_{Vg}
V_D	Dauerverfügbarkeit
$\overline{V}_D$	Dauer-Nichtverfügbarkeit
$\overline{V}_{D\,zul}$	zulässige Dauer-Nichtverfügbarkeit
α	statistische Sicherheit
$1-\alpha$	statistisches Risiko
n_{max}	Abbruchkriterium bei Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten in Wartesystemen

Literatur

[1] *Potthoff, G.*: Verkehrsströmungslehre, Band 5: Bedienungstheorie. Berlin: VEB transpress Verlag für Verkehrswesen 1975.

[2] *Krampe, H.; Kubát, J.; Runge, W.*: Bedienungsmodelle — Ein Leitfaden für Praktiker. Berlin: Verlag Die Wirtschaft 1974.

[3] *Marjanovič, T. P.*: Obobščenie formul Erlanga na slučaj, kogda pribory mogut vychodit' iz stroja i vosstanavlivatsja (Verallgemeinerung der Gleichungen von *Erlang* für den Fall der Außerbetriebnahme und des Wiedereinsatzes von Geräten). Ukrainskij matematičeskij. žurnal 12 (1960) 3, str. 279—286.

[4] *Fischer, K.; Tuppy, W.*: Nachrichtenverkehrsprozesse aus theoretischer Sicht. Fernmeldetechnik, Berlin 20 (1980) 1. S. 24—27.

[5] *Fischer, K.; Tuppy, W.; Bär, M.*: Nachrichtenverkehrstheorie unter Berücksichtigung störanfälliger Kanäle. Ntz-Archiv, Bd. 3 (1981) 10, S. 227—283.

[6] *Bär, M.*: Ein Beitrag zur Theorie störanfälliger Erlangscher Verlustsysteme unter Berücksichtigung typischer Störungen in Vermittlungsstellen. Dissertation A, Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden, Fakultät für Technik und Naturwissenschaften, 1982.

[7] *Fischer, K.; Hertel, G.*: Das Leistungsverhalten von im Störungsfall Ausschuß produzierenden Maschinen. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 23 (1983) 6, S. 178—183.

[8] *Kistner, Kl.-P.*: Betriebsstörungen und Warteschlangen. Opladen: Westdeutscher Verlag GmbH 1974.

[9] *Friedrich, L.*: Grenzen der Bedienungs- und Stärken der Erneuerungstheorie — zur Bestimmung des Leistungsverhaltens und der Zuverlässigkeit industrieller Ausrüstungen und Prozesse. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 22 (1982) 1, S. 14—17, und 2, S. 56—60.

[10] *Fischer, K.; Hertel, G.*: Bedienungssysteme unter Berücksichtigung des Ausfall- und Instandhaltungsgeschehens ihrer Kanäle (Überblick). Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden 29 (1982) 4, S. 464—472.

(Fortsetzung auf S. 274)

F. Beichelt[1])

Prognose und Steuerung driftender Parameter

0. Einleitung

Unter der Drift systemspezifischer Parameter versteht man deren mit wachsender Betriebszeit auftretende Abweichung von den zu Betriebsbeginn vorhandenen Nennwerten. Driftausfälle treten auf, wenn diese Abweichungen einen für den zufriedenstellenden Betrieb des Systems zulässigen Toleranzbereich verlassen. Die weitestgehende Vermeidung von Driftausfällen erfordert eine zuverlässige Prognose der im allgemeinen zufällig verlaufenden Parameterentwicklung als Grundlage für die Planung von Steuerungs- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen. Eine wissenschaftlich begründete Prognose des Parameterverlaufs ist nur dann möglich, wenn er sich befriedigend durch ein mathematisches Modell beschreiben läßt. Im Beitrag wird vorausgesetzt, daß der Parameter ein Skalar ist und folgende Struktur aufweist:

$$W_t = W_0 + Vt \,. \tag{1}$$

W_t zufälliger Wert des Parameters zum Zeitpunkt t, $t \geqq 0$;
V zufällige Geschwindigkeit der Parameteränderung

Die Zufallsgrößen W_0 und V werden als voneinander unabhängige, normalverteilte Zufallsgrößen mit den Erwartungswerten w_0 bzw. μ sowie den Varianzen σ_0^2 bzw. σ^2 vorausgesetzt. Dann ist auch W_t normalverteilt, und zwar mit dem Erwartungswert

$$E(W_t) = w_0 + \mu t$$

und der Varianz

$$D^2(W_t) = \sigma_0^2 + \sigma^2 t^2 \,.$$

Somit ist die Verteilungsfunktion $F^{(t)}(x) = P(W_t \leqq x)$ des zufälligen Parameterwerts zum Zeitpunkt t gegeben durch

$$F^{(t)}(x) = \Phi\left(\frac{x - w_0 - \mu t}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 t^2}}\right). \tag{2}$$

Hierbei ist

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u} \mathrm{e}^{-x^2/2} \,\mathrm{d}x$$

die Verteilungsfunktion einer normalverteilten Zufallsgröße mit dem Erwartungswert 0 und der Varianz 1 (standardisierte Normalverteilung).

Der Toleranzbereich $\boldsymbol{T}$ sei entsprechend den üblichen praktischen Erfordernissen ein Intervall: $\boldsymbol{T} = [w_a, w_b]$ (s. Bild). Häufig interessieren während des Betriebsprozesses die Abweichungen des Parameters nur in eine Richtung, oder es sind ohnehin nur einseitige Abweichungen möglich (z. B. bei mechanischem Verschleiß). Dann wird der Toleranzbereich jeweils nur nach unten bzw. oben eingeschränkt. Es sind also folgende Fälle zu unterscheiden:

1. Einseitiger Toleranzbereich
   $-\infty = w_a < w_b < \infty$ (obere Toleranzschranke)
   $-\infty < w_a < w_b = \infty$ (untere Toleranzschranke)
2. Zweiseitiger Toleranzbereich
   $-\infty < w_a < w_b < \infty \,.$

Von besonderer Bedeutung ist bei gegebenem Toleranzbereich $\boldsymbol{T}$ die zufällige Zeit L bis zum Eintreten eines Driftausfalls:

$$L = \inf_t \{t;\ W_t \notin \boldsymbol{T}\} \,.$$

Zur Vereinfachung der Sprechweise wird L als Lebensdauer bezeichnet. Die Verteilungsfunktion $F(t) = P(L \leqq t)$ der Lebensdauer L enthält die wesentliche Information über das Driftausfallverhalten des Systems, so daß ihre Kenntnis vor allem für die Steuerung des Parameterverlaufs notwendig ist.

Der Ansatz (1) wurde unter den gestellten Voraussetzungen u. a. bereits in [2] bzw. — bei konstantem Anfangswert W_0 — in [1] diskutiert. Die praktische Anwendbarkeit der dort erzielten Ergebnisse wird dadurch eingeschränkt, daß von der exakten Kenntnis der Verteilungsparameter w_0, μ, σ_0 und σ ausgegangen wird. Demgegenüber wird im vorliegenden Beitrag mit statistischen Schätzungen für diese Parameter gearbeitet. Durch Verschiebung des Zeitmaßstabs im Rahmen des Ansatzes (1) werden darüber hinaus auch nichtlineare Parametertrends erfaßt.

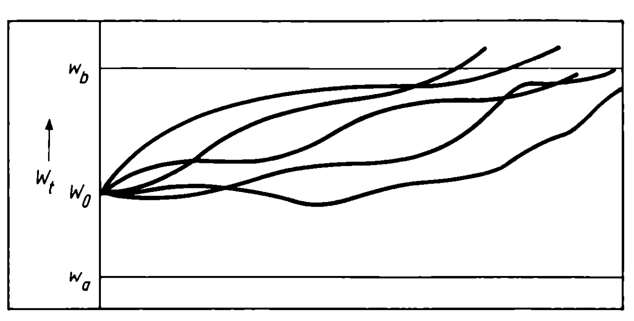


Bild. Realisierungen eines stochastischen Parameterverlaufs mit wachsender Trendfunktion

Das analytische Ziel besteht in der Punkt- und Konfidenzschätzung von Zahlen $t = \tau_\gamma$ mit der Eigenschaft

$$\overline{F}(t) = 1 - \gamma; \qquad 0 < \gamma < 1 \,, \tag{3}$$

wobei $\overline{F}(t) = 1 - F(t) = P(L > t)$ die „Überlebenswahrscheinlichkeit" des Systems bezüglich eines Driftausfalls ist. Somit ist τ_γ das γ-Quantil der durch $F(t)$ bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung: $F(\tau_\gamma) = \gamma$. Inhaltlich ist die Definition von τ_γ damit äquivalent, daß im Intervall $[0, \tau_\gamma]$ (bezogen auf den Zeitpunkt $t = 0$ der Inbetriebnahme des Systems) mit Wahrscheinlichkeit $1 - \gamma$ kein Driftausfall eintritt. Praktisch interessieren die Quantile τ_γ im allgemeinen nur für kleine γ, etwa $\gamma = 0{,}01$ oder $\gamma = 0{,}05$. Die Kenntnis der τ_γ ist eine wesentliche Entscheidungshilfe für die zeitliche Planung von Steuerungsmaßnahmen bezüglich der Parameterentwicklung. Im einfachsten Fall erfolgt die Steuerung durch vollständige Erneuerungen des Systems, durch die der Parameter wieder auf das zu Betriebsbeginn vorhandene Niveau gebracht wird. (In der praktischen Zuverlässigkeitsarbeit wird τ_γ auch als γ-prozentuale Lebensdauer bezeichnet.)

1. Theoretische Grundlagen

Zunächst werden einseitige Toleranzbereiche betrachtet. Nach Definition hat man bei Vorgabe einer oberen Toleranzschranke w_b für die Überlebenswahrscheinlichkeit $\overline{F}(t)$ die Darstellung

$$\overline{F}(t) = P(W_0 + Vx \leqq w_b \,, \quad 0 \leqq x \leqq t) \,. \tag{4}$$

Es wird nun die naheliegende Voraussetzung

$$P(w_b - W_0 > 0) \approx 1$$

getroffen. Der Parameter soll also bei Betriebsbeginn mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit im Toleranzbereich liegen. Dann sind die zufälligen Ereignisse

$$„W_0 + Vx \leqq w_b \,, \quad 0 \leqq x \leqq t\text{“ und „}W_0 + Vt \leqq w_b\text{“}$$

im wesentlichen äquivalent. Man erhält damit aus (3) und (4) für $\overline{F}(t)$ näherungsweise die Darstellung

$$\overline{F}(t) = \Phi\left(\frac{w_b - w_0 - \mu t}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 t^2}}\right). \tag{5}$$

Analog ergibt sich bei Vorgabe einer unteren Toleranzschranke w_a im Fall von $P(W_0 - w_a > 0) \approx 1$ für $\overline{F}(t)$ näherungsweise

$$\overline{F}(t) = \Phi\left(-\frac{w_a - w_0 - \mu t}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 t^2}}\right). \tag{6}$$

Unter den in bezug auf praktische Anwendungen gegenüber den bisherigen Annahmen kaum verschärften Voraussetzungen

$$\left.\begin{aligned} \mu \leqq 0 \quad &\text{für} \quad w = w_a \\ \mu \geqq 0 \quad &\text{für} \quad w = w_b \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

lassen sich (5) und (6) in der Form

$$\overline{F}(t) = \Phi\left(\frac{|w - w_0| - |\mu|\, t}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 t^2}}\right) \tag{8}$$

---

[1]) Prof. Dr. sc. techn. Dr. rer. nat. *Frank Beichelt* (41) studierte von 1961 bis 1966 Mathematik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Von 1966 bis 1969 an der Sektion Forstwirtschaft der TU Dresden, von 1969 bis 1974 an der Sektion Mathematik der Bergakademie Freiberg, von 1974 bis 1979 im Braunkohlenkombinat „Gustav Sobottka" in Röblingen/See und von 1979 bis 1981 an der Sektion Technische Verkehrskybernetik der HfV „Friedrich List" Dresden tätig. 1972 Promotion A zum Dr. rer. nat., 1978 Promotion B zum Dr. sc. techn. Seit 1981 als ordentlicher Professor für Mathematik und Leiter des WB Mathematik/Informationsverarbeitung an der Sektion Informationselektronik der IH Mittweida.

schreiben. Die Darstellung (8) gilt mit vernachlässigbar kleiner Ungenauigkeit, wenn anstelle von $P(w_b - W_0 > 0) \approx 1$ bzw. $P(W_0 - w_a > 0) \approx 1$ die präzisere Voraussetzung

$$|w - w_0| = 3\sigma_0 \tag{9}$$

getroffen wird. Die durch (8) definierte Verteilung heißt Bernstein-Verteilung. Sie ist eine „unvollständige" Wahrscheinlichkeitsverteilung; denn es gilt für alle $t \geqq 0$

$$0 < \Phi\left(-\frac{|\mu|}{\sigma}\right) < \bar{F}(t) \leqq \Phi\left(\frac{|w - w_0|}{\sigma_0}\right) \leqq 1\,. \tag{10}$$

Hierbei ist die Einschränkung $\bar{F}(t) \leqq \Phi(|w - w_0|/\sigma_0)$ wegen Voraussetzung (9) vernachlässigbar.

Es seien

$$\left.\begin{aligned} Z(t) &= |w - w_0| - |\mu|\, t\,, \\ N(t) &= \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 t^2}\,. \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

Damit läßt sich gemäß (8) die Bestimmungsgleichung (3) für $t = \tau_\gamma$ in der folgenden Form schreiben:

$$\frac{Z(t)}{N(t)} = u_{1-\gamma}\,, \tag{12}$$

wobei $u_{1-\gamma}$ das $(1 - \gamma)$-Quantil der standardisierten Normalverteilung ist: $\Phi(u_{1-\gamma}) = 1 - \gamma$. Aufgrund der Beziehung (10) sind bei der Lösung zwei Fälle zu unterscheiden. (Wegen der Voraussetzung (9) wird auf die Berücksichtigung der rechten Seite von (10) verzichtet.)

a) $0 < \gamma < \Phi(|\mu|/\sigma)$, $\gamma \neq \Phi(-|\mu|/\sigma)$

$$\tau_\gamma = \frac{1}{\mu^2 - \sigma^2 u_{1-\gamma}^2} \times \\ \times \left[w - w_0|\mu| - u_{1-\gamma}\sqrt{(\mu^2 - \sigma^2 u_{1-\gamma}^2)\,\sigma_0^2 + (w - w_0)^2\,\sigma^2}\right], \tag{13}$$

b) $0 < \gamma = \Phi(-|\mu|/\sigma)$

$$\tau_\gamma = \frac{|w - w_0|^2\,\sigma^2 - |\mu|^2\,\sigma_0^2}{2|w - w_0|\,|\mu|\,\sigma^2}\,. \tag{14}$$

Ist die Bedingung $|\mu| \geqq 3\sigma$ erfüllt, so sind die Einschränkung $\gamma < \Phi(|\mu|/\sigma)$ im Fall a) sowie der Fall b) praktisch bedeutungslos.

Es liege nun ein zweiseitiger Toleranzbereich $\boldsymbol{T} = [w_a, w_b]$ vor, wobei die Voraussetzung $P(W_0 \in \boldsymbol{T}) \approx 1$ erfüllt sei. Analog zur Bedingung (9) wird diese Voraussetzung präziser in der Form

$$+w_b - w_0 \geqq 3\sigma_0\,, \qquad +w_0 - w_a \geqq 3\sigma_0 \tag{15}$$

geschrieben. Dann gilt mit vernachlässigbar kleiner Ungenauigkeit

$$\bar{F}(t) = P(L > t) = P(W_x \in \boldsymbol{T},\, 0 \leqq x \leqq t) = P(W_t \in \boldsymbol{T}) = \\ = P(w_a \leqq W_t \leqq w_b)\,.$$

Somit gilt gemäß (2)

$$\bar{F}(t) = \Phi\left(\frac{w_b - w_0 - \mu t}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 t^2}}\right) - \Phi\left(\frac{w_a - w_0 - \mu t}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 t^2}}\right). \tag{16}$$

Offenbar gilt $\bar{F}(\infty) = 0$ und wegen (15) mit hinreichender Genauigkeit $\bar{F}(0) = 1$, so daß die Eigenschaften einer Lebensdauerverteilung praktisch erfüllt sind.

Um die Abhängigkeit der Überlebenswahrscheinlichkeit vom mittleren Anfangswert $w_0 = E(W_0)$ des Parameters auszudrücken, wird im folgenden anstelle von $\bar{F}(t)$ genauer $\bar{F}(t, w_0)$ geschrieben. Beim zweiseitig beschränkten Toleranzbereich ist die Frage nach einem bezüglich $\bar{F}(t, w_0)$ optimalen mittleren Anfangswert nichttrivial und praktisch interessant. Gesucht ist also ein Wert $w_0 = w_0^*(t)$, der die Bedingung

$$\bar{F}(t, w_0^*(t)) = \max_{w_0 \in (w_a, w_b)} \bar{F}(t, w_0)$$

erfüllt. Zu seiner Bestimmung wird (16) in folgender Form geschrieben:

$$\bar{F}(t, w_0) = \Phi(t_1) + \Phi(t_2) - 1 \tag{17}$$

mit

$$t_1 = \frac{w_b - w_0 - \mu t}{N(t)}\,, \qquad t_2 = \frac{w_0 - w_a + \mu t}{N(t)}\,,$$

wobei $N(t)$ durch (11) gegeben ist und

$$t_1 + t_2 = z \tag{18}$$

mit $z = (w_b - w_a)/N(t)$ gilt. Zunächst wird $t_1 \geqq 0$ vorausgesetzt. ($t_2 \geqq 0$ gilt ohnehin.) Wegen der Konkavität von $\Phi(t)$ für $t \geqq 0$ folgt aus (18)

$$\Phi(z/2) \geqq \tfrac{1}{2}\,\Phi(t_1) + \tfrac{1}{2}\,\Phi(t_2)$$

bzw.

$$2\Phi\left(\frac{z}{2}\right) = \Phi(t_1) + \Phi(t_2)\,.$$

Daher nimmt wegen (17) für beliebiges, aber festes $t > 0$ die Wahrscheinlichkeit $\bar{F}(t, w_0)$ genau dann ihr Maximum an, wenn $t_1 = t_2 = z/2$ ist. Aus dieser Bedingung folgt

$$w_0^*(t) = \tfrac{1}{2}\,(w_a + w_b) - \mu t\,. \tag{19}$$

Erwartungsgemäß fällt $w_0^*(t)$ im Fall $\mu = 0$ mit dem Mittelpunkt $(w_a - w_b)/2$ des Toleranzintervalls zusammen. Um die Bedingung $w_a \leqq w_0^*(t) \leqq w_b$ zu gewährleisten, ist nachträglich noch

$$t \leqq \frac{w_b - w_a}{2\,|\mu|} \tag{20}$$

zu fordern. Unter dieser Voraussetzung ist auch die oben gestellte Voraussetzung $t_1 \geqq 0$ mit $w_0 = w_0^*(t)$ erfüllt. Wegen Voraussetzung (15) ist anstelle der Ungleichung (20) eine schärfere Forderung zu stellen:

$$t \leqq \frac{w_b - w_a - 3\sigma_0}{2\,|\mu|}\,. \tag{21}$$

Aus (17) ergibt sich bei Anwendung von $w_0^*(t)$ die Überlebenswahrscheinlichkeit $\bar{F}^*(t) = \bar{F}(t, w_0^*(t))$ zu

$$\bar{F}^*(t) = 2\Phi\left(\frac{w_b - w_a}{2\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 t^2}}\right) - 1\,. \tag{22}$$

Die Definitionsgleichung $\bar{F}^*(\tau_\gamma^*) = 1 - \gamma$ führt daher zu den Beziehungen

$$\left.\begin{aligned} \Phi\left(\frac{w_b - w_a}{2\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 \tau_\gamma^{*2}}}\right) &= 1 - \gamma/2\,, \\ \frac{w_b - w_a}{2\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 \tau_\gamma^{*2}}} &= u_{1-\gamma/2}\,. \end{aligned}\right\} \tag{23}$$

Es folgt

$$\tau_\gamma^* = \frac{1}{2\sigma u_{1-\gamma/2}}\sqrt{(w_b - w_a)^2 - 4\sigma_0^2 u_{1-\gamma/2}^2}\,. \tag{24}$$

Der Radikand ist positiv, wenn $(w_b - w_a)/\sigma_0 > 2u_{1-\gamma/2}$ ausfällt. Die Bedingung (21) mit $t = \tau_\gamma^*$ führt zu weiteren Beschränkungen. Zum Beispiel ist diese Bedingung für $\sigma_0 = 0$ genau dann erfüllt, wenn $|\mu|/\sigma \leqq u_{1-\gamma/2}$ gilt.

Die Berechnung von τ_γ als Lösung der Gleichung $\bar{F}(\tau_\gamma, w_0) = 1 - \gamma$ bei beliebigem w_0 bereitet keine prinzipiellen Schwierigkeiten. Allerdings ist der numerische Aufwand zur Bestimmung von τ_γ höher als im eben betrachteten Fall, da für τ_γ kein expliziter Ausdruck analog zu (24) angegeben werden kann. Auf die Anwendung einer durch τ_γ^* und $w_0^*(\tau_\gamma^*)$ gegebenen „Erneuerungspolitik" sollte aufgrund ihrer Optimalitätseigenschaft auch nur dann verzichtet werden, wenn sie aus technischen Gründen nicht realisierbar ist.

2. Punkt- und Konfidenzschätzungen

Auf die charakteristische inhaltliche Eigenschaft der durch (3) definierten Quantile τ_γ einer Lebensdauerverteilung wurde bereits hingewiesen: Wird nach τ_γ Zeiteinheiten der Parameter wieder auf das zu Betriebsbeginn vorhandene Niveau gebracht (Erneuerung des Systems), so werden Driftausfälle mit Wahrscheinlichkeit $1 - \gamma$ vermieden. Die Berechnung von τ_γ entsprechend (13) bzw. (24) erfordert jedoch die exakte Kenntnis der Parameter w_0, μ, σ_0 und σ. Im allgemeinen hat man aber nur statistische Schätzungen (Punktschätzungen) dieser Parameter. Um, aufbauend auf Punktschätzungen $\hat{w}_0$, $\hat{\mu}$, $\hat{\sigma}_0$ und $\hat{\sigma}$ für w_0, μ, σ_0 und σ, zu einem „Erneuerungsintervall" mit einer entsprechenden Eigenschaft wie τ_γ zu gelangen, ist die einseitige untere Konfidenzschranke für τ_γ zu einem vorgegebenen Niveau zu konstruieren. Die Lösung dieses Problems ist das Hauptanliegen dieses Abschnitts. Für einseitige Toleranzbereiche können die Ausführungen zum Teil in Anlehnung an [3] erfolgen, obwohl das dort bei der Lösung des gleichen Problems erzielte Ergebnis nicht korrekt ist.

Die erforderlichen Punktschätzungen werden auf der Basis von einfachen Stichproben erhoben. Zu deren Gewinnung werden zu den Zeitpunkten 0 und T jeweils n unabhängig voneinander ablaufende, statistisch äquivalente Prozesse $\{W_t\}_{t \geqq 0}$ der Gestalt (1) betrachtet. Man erhält die einfachen Stichproben

$$\{W_0^{(i)};\, i = 1, 2, \dots, n\} \quad \text{und} \quad \{W_T^{(i)};\, i = 1, 2, \dots, n\} \tag{25}$$

bzw. $\{V_i;\, i = 1, 2, \dots, n\}$ mit $V_i = (W_T^{(i)} - W_0^{(i)})/T$.

Damit hat man für w_0, σ_0^2, μ und σ^2 die erwartungstreuen Punktschätzungen

$$\left.\begin{aligned} \hat{w}_0 &= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} W_0^{(i)}\,, & \hat{\sigma}_0^2 &= \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(W_0^{(i)} - \hat{w}_0)^2\,, \\ \hat{\mu} &= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} V_i\,, & \hat{\sigma}^2 &= \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(V_i - \hat{\mu})^2\,. \end{aligned}\right\} \tag{26}$$

Werden Punktschätzungen anstelle der entsprechenden Parameter in (13) bzw. (14) oder (24) eingesetzt, so erhält man für τ_γ die entsprechende Punktschätzung $\hat{\tau}_\gamma$. Das Ziel besteht nunmehr in der Konstruktion eines Konfidenzintervalls $[\overline{\tau}_\gamma, \overline{\overline{\tau}}_\gamma]$ für τ_γ zu einem vorgegebenen Konfidenzniveau. Dabei ist wiederum zwischen ein- und zweiseitigen Toleranzbereichen zu unterscheiden.

a) *Einseitiger Toleranzbereich.* Ausgangspunkt der nötigen theoretischen Untersuchungen ist die Tatsache, daß die Erwartungswerte der normalverteilten Zufallsgrößen $(w_b - \hat{w}_0 - \hat{\mu}t)$ und $(\hat{w}_0 - w_a + \hat{\mu}t)$ unter Berücksichtigung der Voraussetzungen (7) durch $Z(t)$ und ihre Varianzen durch $N^2(t)/n$ (s. (11)) gegeben sind. Daher sind die Zufallsgrößen

$$\frac{w_b - \hat{w}_0 - \hat{\mu}t}{N(t)}\sqrt{n} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\hat{w}_0 - w_a + \hat{\mu}t}{N(t)}\sqrt{n} \tag{27}$$

ebenfalls normalverteilt, und zwar mit den zugehörigen Erwartungswerten $\sqrt{n}\, Z(t)/N(t)$ und der Varianz 1. Die Varianz von W_t beträgt $N(t)$. Die zugehörige, vermittels der einfachen Stichprobe $\{W_T^{(i)}, i = 1, 2, \ldots, n\}$ ermittelte empirische Varianz ist $\hat{\sigma}_0^2 + \hat{\sigma}^2 t^2$. (Wegen der vorausgesetzten Zeitunabhängigkeit von V hat für die Ermittlung einer Realisierung V_i von V aus einer Realisierung des Parameterverlaufs die Länge des zugrunde gelegten Intervalls keinen Einfluß.) Somit genügt die Zufallsgröße

$$\xi^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2 + \hat{\sigma}^2 t^2}{N^2(t)}(n-1) \tag{28}$$

einer χ^2-Verteilung mit $n - 1$ Freiheitsgraden, und die Quotienten aus den durch (27) gegebenen Zufallsgrößen und $\xi/\sqrt{n-1}$, nämlich

$$\eta_b(t) = \frac{w_b - \hat{w}_0 - \hat{\mu}t}{\sqrt{\hat{\sigma}_0^2 + \hat{\sigma}^2 t^2}}\sqrt{n}\,, \qquad \eta_a(t) = \frac{\hat{w}_0 - w_a + \hat{\mu}t}{\sqrt{\hat{\sigma}_0^2 + \hat{\sigma}^2 t^2}}\sqrt{n}$$

genügen einer nichtzentralen t-Verteilung mit $n - 1$ Freiheitsgraden und dem Parameter

$$\delta(t) = \frac{Z(t)}{N(t)}\sqrt{n}\,.$$

Speziell sei $t = \tau_\gamma$. Dann gilt definitionsgemäß entsprechend (12) $\delta(\tau_\gamma) = \sqrt{n}\, u_{1-\gamma}$, so daß $\eta_b(\tau_\gamma)$ und $\eta_a(\tau_\gamma)$ einer nichtzentralen t-Verteilung mit dem Parameter $\sqrt{n}\, u_{1-\gamma}$ genügen. Sind t_{ε_1} bzw. $t_{1-\varepsilon_2}$ die ε_1- bzw. $(1 - \varepsilon_2)$-Quantile dieser Verteilung, $0 < \varepsilon_1 + \varepsilon_2 < 1$, so ergeben sich mit $\eta = \eta_b$ oder $\eta = \eta_a$ die oberen bzw. unteren Konfidenzgrenzen als Lösungen $t = \tau_\gamma(\varepsilon_1) = \overline{\tau}_\gamma$ bzw. $t = \tau_\gamma(1 - \varepsilon_2) = \overline{\overline{\tau}}_\gamma$ der Gleichungen

$$\eta(t) = t_{\varepsilon_1} \quad \text{bzw.} \quad \eta(t) = t_{1-\varepsilon_2}\,. \tag{29}$$

Dabei überdeckt das Intervall $[\overline{\tau}_\gamma, \overline{\overline{\tau}}_\gamma]$ das Quantil τ_γ mit Wahrscheinlichkeit $1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2$. Werden analog zu den Bedingungen (7) die dem Problem angepaßten Voraussetzungen

$$\left.\begin{array}{lll} \hat{w}_0 \leqq w_b\,, & \hat{\mu} \geqq 0 & \text{für} \quad \mu \geqq 0\,, \\ \hat{w}_0 \geqq w_a\,, & \hat{\mu} \leqq 0 & \text{für} \quad \mu \leqq 0 \end{array}\right\} \tag{30}$$

getroffen, so haben die linken Seiten von (29) die gleiche funktionelle Gestalt wie (12). Für ein beliebiges ε-Quantil t_ε mit $0 < \varepsilon < 1$ einer nichtzentralen t-Verteilung mit dem Parameter $\delta = \sqrt{n}\, u_{1-\gamma}$ enthält unter Beachtung der Voraussetzungen (7) und (30) folgende Gleichung die Gleichungen (29) als Spezialfälle:

$$\frac{|w - \hat{w}_0| - |\hat{\mu}|\, t}{\sqrt{\hat{\sigma}_0^2 + \hat{\sigma}^2 t^2}} = \frac{t_\varepsilon}{\sqrt{n}}\,. \tag{31}$$

Analog zu (13) bzw. (14) sind bei der Lösung dieser Gleichung nach $t = \tau_\gamma(\varepsilon)$ zwei Fälle zu unterscheiden:

a) $(\mu/\hat{\sigma})^2 \neq t_\varepsilon^2/n$

$$\tau_\gamma(\varepsilon) = \frac{n}{n\hat{\mu}^2 - \hat{\sigma}^2 t_\varepsilon^2} \times$$
$$\times \left[|w - \hat{w}_0|\,|\hat{\mu}| - \frac{t_\varepsilon}{\sqrt{n}}\sqrt{\left(\hat{\mu}^2 - \hat{\sigma}^2\frac{t_\varepsilon^2}{n}\right)\hat{\sigma}_0^2 + (w - \hat{w}_0)^2\,\hat{\sigma}^2}\right]. \tag{32}$$

b) $(\hat{\mu}/\hat{\sigma})^2 = t_\varepsilon^2/n$

$$\tau_\gamma(\varepsilon) = \frac{(w - \hat{w}_0)^2\,\hat{\sigma}^2 - \hat{\mu}^2\hat{\sigma}_0^2}{2|w - \hat{w}_0|\,|\hat{\mu}|\,\hat{\sigma}^2}\,. \tag{33}$$

Quantile der nichtzentralen t-Verteilung kann man z. B. dem Tafelwerk [3] entnehmen.

Bemerkung. Der Fall $\mu = \sigma_0 = 0$ ist in den bisherigen Ausführungen nicht enthalten, da dann insbesondere w_0 = konstant (deterministischer Anfangswert des Parameters) gilt. Jedoch ist seine Behandlung einfach: Aus (8) folgt für die zugehörige Überlebenswahrscheinlichkeit

$$\overline{F}(t) = \Phi\left(\frac{|w - w_0|}{\sigma t}\right),$$

so daß für $0 \leqq \gamma < 1/2$

$$\frac{|w - w_0|}{\sigma\tau_\gamma} = u_{1-j} \quad \text{bzw.} \quad \sigma = \frac{|w - w_0|}{\tau_\gamma u_{1-\gamma}}$$

gilt. Daher genügt die Zufallsgröße

$$\frac{u_{1-\gamma}(n-1)\,\tau_\gamma}{2|w - w_0|}\,\hat{\sigma}^2$$

einer χ^2-Verteilung mit $n - 1$ Freiheitsgraden. Somit ist $[\tau_\gamma(\varepsilon_1), \tau_\gamma(1 - \varepsilon_2)]$, $0 < \varepsilon_1 + \varepsilon_2 < 1$ ein Konfidenzintervall für τ_γ zum Konfidenzniveau $1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2$, wenn für alle $\varepsilon \in (0, 1)$

$$\tau_j(\varepsilon) = \frac{|w - w_0|\,\chi_\varepsilon^2}{(n-1)\,u_{1-j}\hat{\sigma}^2}$$

gesetzt wird. Hierbei ist χ_ε^2 das ε-Quantil der χ^2-Verteilung mit $n - 1$ Freiheitsgraden.

Beispiel 1. Es sei bekannt, daß ein systemspezifischer Parameter dem Ansatz (1) genügt; zum Nachweis derartiger Sachverhalte sind statistische Anpassungstests durchzuführen. Auf der Grundlage einer einfachen Stichprobe der Gestalt (25) vom Umfang $n = 18$ werden Realisierungen der Punktschätzungen (26) berechnet. Man erhält $\hat{w}_0 = 3$, $\hat{\sigma}_0 = 1$, $\mu = 0{,}04$ und $\hat{\sigma} = 0{,}02$. Eine obere Toleranzschranke sei $w_b = 13$. Tafel 1 enthält für spezielle ε untere Konfidenzgrenzen $\overline{\tau}_\gamma$ für $\overline{\tau}_\gamma = \tau_{0,95}$ zum Konfidenzniveau $1 - \varepsilon$. Entsprechend (32) sind sie gemäß

$$\tau_{0,95}(1 - \varepsilon) = \frac{45\,000}{72 - t_{1-\varepsilon}^2} \times$$
$$\times \left[0{,}4 - \frac{t_{1-\varepsilon}}{18}\sqrt{0{,}7488 - (0{,}02\,t_{1-\varepsilon})^2}\right]$$

berechnet, wobei $t_{1-\varepsilon}$ das $(1 - \varepsilon)$-Quantil einer nichtzentralen t-Verteilung mit 17 Freiheitsgraden und dem Parameter $\delta = \sqrt{n}\, u_{1-\gamma} = \sqrt{18} \cdot 1{,}65 = 7$ ist.

b) *Zweiseitiger Toleranzbereich.* Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Tatsache, daß die durch (28) definierte Zufallsgröße ξ^2 einer χ^2-Verteilung mit $n - 1$ Freiheitsgraden genügt. Daher ist wegen (23) auch die durch

$$\xi^2 = \frac{4(n-1)\,u_{1-\gamma/2}^2}{(w_b - w_a)^2}\,(\hat{\sigma}_0^2 + \hat{\sigma}^2\tau_\gamma^{*2})$$

definierte Zufallsgröße $\xi^2 = \xi^2(\tau_\gamma^*)$ nach χ^2 mit $n - 1$ Freiheitsgraden verteilt. Ist χ_ε^2 das ε-Quantil dieser Verteilung, so ergibt die Auflösung der Gleichung $\xi^2(\tau_\gamma^*) = \chi_\varepsilon^2$ nach $\tau_\gamma^* = \tau_\gamma^*(\varepsilon)$:

$$\tau_\gamma^*(\varepsilon) = \frac{1}{2\hat{\sigma}u_{1-\gamma/2}}\sqrt{\frac{(w_b - w_a)^2\,\chi_\varepsilon^2}{n-1} - 4\hat{\sigma}_0^2 u_{1-\gamma/2}^2}\,. \tag{34}$$

Ein Konfidenzintervall für τ_γ^* zum Konfidenzniveau $1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2$ ist durch $[\tau_\gamma^*(\varepsilon_1), \tau_\gamma^*(1 - \varepsilon_2)]$ gegeben, wenn die zugehörigen Radikanden von (34) nichtnegativ sind.

Beispiel 2. Aus der Realisierung einer Stichprobe der Form (25) vom Umfang $n = 20$ wurden $\hat{\mu} = 0{,}02$, $\hat{\sigma} = 0{,}03$ und $\hat{\sigma}_0 = 0{,}7$ ermittelt. Die Toleranzgrenzen seien $w_a = -2$ und $w_b = 5$. Tafel 2 enthält für spezielle ε untere Konfidenzgrenzen $\overline{\tau}_\gamma^*$ für $\overline{\tau}_\gamma^* = \tau_{0,95}^*$ zum Konfidenzniveau $1 - \varepsilon$. Dabei wird von der optimalen mittleren Parametereinstellung ausgegangen, wobei anstelle von (19) mit der Punktschätzung

$$\hat{w}_0^*(t) = \tfrac{1}{2}(w_a + w_b) - \hat{\mu}t = 3{,}5 - 0{,}02t$$

an der Stelle $t = \hat{\tau}_\gamma^*$ zu arbeiten ist. Entsprechend (24) gilt in diesem Fall $\hat{\tau}_\gamma^* = \hat{\tau}_{0,05}^* = 54{,}5$. Gemäß (34) errechnen sich wegen $u_{1-\gamma/2} = u_{0,975} = 1{,}96$ die $\overline{\tau}_\gamma^*(\varepsilon)$ aus der Gleichung

$$\overline{\tau}_\gamma^* = 8{,}5\sqrt{2{,}58\chi_\varepsilon^2 - 7{,}53}\,.$$

Der Radikand ist bei $n - 1 = 19$ Freiheitsgraden sicher für $\varepsilon \geqq 0{,}001$ positiv.

Tafel 1. Untere Konfidenzgrenzen bei einseitigem Toleranzbereich (Beispiel 1)

$1 - \varepsilon$	0,90	0,95	0,99
$t_{1-\varepsilon}$	9,57	10,44	12,35
$\overline{\tau}_{0,95}$	112	106	94
$\hat{\tau}_{0,95} = 128$			

Tafel 2. Untere Konfidenzgrenzen bei zweiseitigem Toleranzbereich und optimaler Parametereinstellung (Beispiel 2)

$1 - \varepsilon$	0,90	0,95	0,99
χ_ε^2	11,65	10,12	7,63
$\overline{\tau}_{0,95}^*$	40,4	36,7	29,6
$\hat{\tau}_{0,95}^* = 54{,}7$			

3. Nichtlinearer Parametertrend

Eine naheliegende Verallgemeinerung des Ansatzes (1) besteht darin, ihn so zu modifizieren, daß auch nichtlineare Parametertrends $\{E(W_t)\}_{t \geq 0}$ mit erfaßt werden können. Es sei also

$$W_t = W_0 + VH(t)\,, \tag{35}$$

wobei $H(t)$ eine stetige, streng monoton wachsende Funktion von t ist; $H(0) = 0$. Wie bisher seien W_0 und V voneinander unabhängige, normalverteilte Zufallsgrößen mit den Erwartungswerten w_0 und σ_0 sowie den Varianzen σ_0^2 und σ^2. Im Fall eines einseitigen Toleranzbereichs hat man analog zu (8) unter den dort gemachten Voraussetzungen die Überlebenswahrscheinlichkeit

$$\overline{F}(t) = \Phi\left(\frac{|w - w_0| - |\mu|\, H(t)}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2(H(t))^2}}\right), \tag{36}$$

während im Fall eines zweiseitigen Toleranzbereichs analog zu (16) gilt

$$\overline{F}(t) = \Phi\left(\frac{w_b - w_0 - \mu H(t)}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2(H(t))^2}}\right) - \Phi\left(\frac{w_a - w_0 - \mu H(t)}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2(H(t))^2}}\right). \tag{37}$$

Der Übergang vom Ansatz (1) zum Ansatz (35) beinhaltet also lediglich eine Zeittransformation, so daß die Ergebnisse der Abschnitte 2. und 3. angewendet werden können. Dazu ist eine erhobene Stichprobe der Form (25) zu „linearisieren", d. h., auf alle $W_T^{(i)}$ ist die Transformation H^{-1} anzuwenden: $W_T^{(i)} = H^{-1}(W_T^{(i)})$. Die damit ermittelten Konfidenzgrenzen sind durch Anwendung von H wieder zurückzutransformieren. Um H schätzen zu können, ist der Prozeß an einer größeren Anzahl von Stützstellen zu beobachten. Eine Stichprobe der Form (25) enthält im allgemeinen nicht die dazu nötige Information.

Literatur

[1] *Beichelt, F.:* Effektive Planung prophylaktischer Maßnahmen in der Instandhaltung. Band 185 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.

[2] *Beichelt, F.; Franken, P.:* Zuverlässigkeit und Instandhaltung. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.

[3] *Müller, P. H.; Neumann, P.; Storm, R.:* Tafeln der mathematischen Statistik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1973.

[4] *Teškin, O. I.:* Intervalnoje ocenivanije gamma-procentnowo resursa. (Intervallschätzung der gamma-prozentualen Lebensdauer.) Statističeskije metody issledovanija nadežnosti i kontrolja kačestva 7 (1979), str. 3–12.

msr 7888

G. Müller[1])

Entwicklung der Einflußfaktoren auf die technische Vorbereitung von Automatisierungsanlagen – eine historische Übersicht

0. Einleitung

Im Automatisierungsanlagenbau wird unter der technischen Vorbereitung (TeVo) ein ganzer Komplex wissenschaftlich-technischer und technisch-organisatorischer Tätigkeiten zur Erstellung von Projekt- und Fertigungsunterlagen verstanden. Dazu gehören wissenschaftlich-technische Leistungen, der Entwurf und die Projektierung. Das Schwergewicht liegt naturgemäß auf der Projektierung. Deshalb werden die technische Vorbereitung und Projektierung oft als Synonyme verwendet.

Die Zielstellung des Beitrages besteht in dem Versuch, eine historische Übersicht zu Einflußfaktoren auf das Niveau der TeVo für Automatisierungsanlagen (AA), zum Zusammenwirken der Mittel zur Automatisierung und zu ihren Veränderungen zu geben. Einige Schlußfolgerungen sollen die Betrachtungen abschließen.

Aus einer Reihe von Gründen wird der Zeitraum der letzten 35 bis 40 Jahre betrachtet und der Schwerpunkt auf die Bedingungen der DDR gelegt. Das führt aber zu keiner Einschränkung der Allgemeingültigkeit der Aussagen.

Da die behandelten Fragen einer weiteren Diskussion und Untersuchung bedürfen, wird eine thesenhafte und kurze Darstellung bevorzugt. Die Aussagen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit; ausführliche Darstellungen von Detailproblemen entnimmt der Leser der Fachliteratur. Die angestellten Betrachtungen sollen auf Fließprozesse der Verfahrenstechnik/Chemie, der Energie- und Kraftwerkstechnik und ähnlicher technologischer Linien beschränkt werden.

1. Wechselwirkung zwischen den Säulen der Anlagentechnik

Die AA ist untrennbarer Bestandteil einer Gesamtanlage. Eine technologische Gesamtanlage (Anlagentechnik) besteht aus drei dominierenden Säulen (Tafel 1):

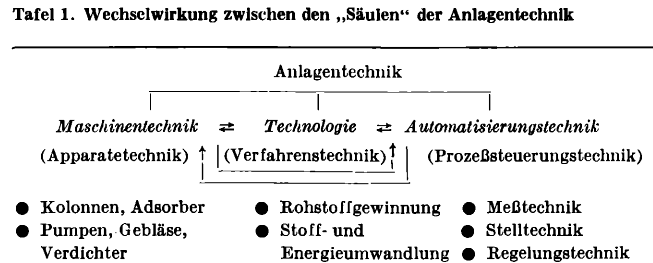
– Maschinentechnik (Apparatetechnik)
– Technologie (Verfahrenstechnik)
– Automatisierungstechnik (Prozeßsteuerungstechnik).

Eine bestimmte Technologie erfordert konkrete und verfügbare Maschinentechnik (Maschinen, Apparate, Aggregate). Die Maschinentechnik bestimmt die quantitativen Möglichkeiten und Grenzen des Produktionsprozesses und seine Stabilität. Die Automatisierungstechnik hat Einfluß u. a. auf Menge, Qualität, Effektivität, Zuverlässigkeit und einwandfreie Funktion des Produktionsprozesses. Technologie und Maschinentechnik bedingen den Einsatz der Automatisierungstechnik. Dafür gibt es in der Volkswirtschaft im Verlaufe der letzten drei bis vier Jahrzehnte zahlreiche markante Beispiele. Sie reichen vom Kraftwerk kleiner, mittlerer und großer Leistung bis zum Kernkraftwerk und von Braunkohlenveredlungsanlagen, Erdölaufbereitungs- und -verarbeitungsanlagen bis zu petrolchemischen Fabriken zur tieferen Spaltung des Erdöls.

Die Entwicklung, wonach die Bedeutung der Automatisierungsanlagentechnik aufgrund ihres funktionsnotwendigen Charakters steigt, verstärkt sich in der Zukunft mit der Ausarbeitung und großtechnischen Nutzung neuer Technologien [1] und [8]. Es wird eine immer engere Kopplung von Produktionsanlagen mit der Automatisierungstechnik beobachtet.

Die Zuordnung einer Priorität zu einer der drei genannten Säulen ist nicht gerechtfertigt. Die Beachtung der engen Wechsel-

Tafel 1. Wechselwirkung zwischen den „Säulen" der Anlagentechnik



Anlagentechnik

Maschinentechnik ⇄	*Technologie* ⇄	*Automatisierungstechnik*
(Apparatetechnik)	(Verfahrenstechnik)	(Prozeßsteuerungstechnik)
● Kolonnen, Adsorber ● Pumpen, Gebläse, Verdichter ● Reaktoren ● Wärmeübertrager ● Trennapparate ● Drossel- und Absperrorgane ● Generatoren, Motoren	● Rohstoffgewinnung ● Stoff- und Energieumwandlung ● Vereinigen, Trennen ● Speichern, Mischen ● Transportieren ● Kühlen, Erhitzen	● Meßtechnik ● Stelltechnik ● Regelungstechnik ● Steuerungstechnik ● Prozeßrechentechnik ● Mikroprozeßrechentechnik ● Prozeßleittechnik (Mensch-Maschine-Kommunikation)

---

[1]) Dr.-Ing. *Günter Müller* (38) studierte von 1964 bis 1969 Regelungstechnik an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg (THM). 1969 bis 1972 planmäßige Aspirantur und Promotion am Moskauer Energetischen Institut, Fakultät für Automatisierungs- und Rechentechnik. 1972 bis 1980 wissenschaftlicher Assistent an der THM, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik, WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerung. 1980 bis 1983 Projektingenieur für Prozeßrechentechnik im VEB Geräte- und Regler-Werke „Wilhelm Pieck" Teltow. Seit 1983 Fortsetzung der Tätigkeit an der THM.

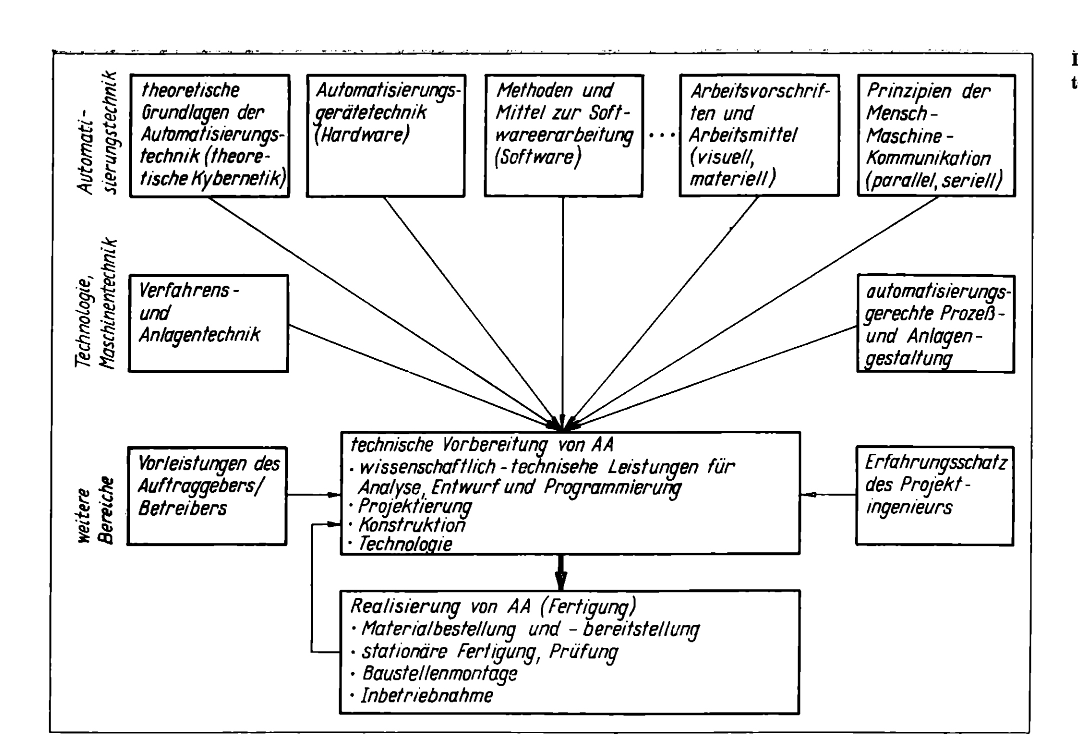


Bild 1. Einflußfaktoren auf die technische Vorbereitung

wirkung zwischen den drei Säulen der Anlagentechnik ist bei der Lösung von Automatisierungsaufgaben, der Projektierung und automatisierungsgerechten Gestaltung neuer Anlagen und Prozesse von großer Bedeutung [1] und [19]. Daraus leitet sich auch die Notwendigkeit der engen und rechtzeitigen Zusammenarbeit der entsprechenden Partner ab, wenn eine AA errichtet werden soll [23]. So wird der steigenden Bedeutung des Entwurfs der AA entsprochen: Anlagentopologie, Automatisierungsstrukturen, Algorithmen für Steuerung und Regelung, Zuverlässigkeitsstrukturen u. a.

2. Veränderungen in der Verfahrens- und Anlagentechnik

Aus den kurzen Darlegungen zu den Säulen der Anlagentechnik geht hervor, daß sich Entwicklungen der Verfahrens- und Anlagentechnik sehr stark auf die Automatisierungstechnik auswirken (Bild 1). Bei Erfüllung einer Reihe von Bedingungen, auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden kann, werden die Anforderungen an die Automatisierungstechnik umgesetzt in entsprechende Lösungen (s. Abschn. 3. und 4.).
Beispiele typischer Veränderungen in der Verfahrens- und Anlagentechnik und daraus resultierende Anforderungen an die Automatisierungstechnik, die sich in jüngster Vergangenheit zeigten, sind in Tafel 2 zusammengestellt.
Triebkräfte für derartige Entwicklungen sind u. a.
- der wissenschaftlich-technische Fortschritt (Innovation)
- die weitere Befriedigung der materiellen und geistig-kulturellen Bedürfnisse der Bevölkerung
- äußere Zwänge zur Energie- und Rohstoffeinsparung sowie zur höheren Veredlung der Rohstoffe und effektiven Nutzung der Primärenergieträger und der Sekundärenergie.

Anhand einiger Beispiele soll die Entwicklung verdeutlicht werden:

- Steigende Blockleistung in Kraftwerken (Sicherung der Energieversorgung der Volkswirtschaft) und Übergang zu Kernkraftwerken
  . 50er Jahre: Blockleistung etwa 100 MW (Lübbenau)
  . 60er Jahre: Blockleistung etwa 200 MW (Vetschau)
  . 70er Jahre: Blockleistung etwa 500 MW (Boxberg, Jänschwalde, Hagenwerder) und Übergang zu Kernkraftwerken (KKW Nord in Lubmin).

  Die Anzahl der Meßstellen veränderte sich in Abhängigkeit der Blockgröße wie folgt: 100 MW etwa 250; 300 MW etwa 1500; 500 MW etwa 3000.
- Automatisierung in der chemischen Industrie: Bis 1950 erfolgte die Prozeßsteuerung hauptsächlich manuell auf der Basis weniger Prozeßgrößen, in den 50er Jahren setzten sich durch das Aufkommen von Meßumformern und der ersten firmengebundenen Einheitssysteme die automatische Regelung und die Wartentechnik durch, von 1960 bis Mitte der

Tafel 2. Veränderungen in der Verfahrens- und Anlagentechnik

lfd. Nr.	typische Veränderungen	Anforderungen an die Automatisierungstechnik
1	größere Anlagenteile mit erhöhtem Produktdurchsatz	Zunahme der Anzahl der Automatisierungsstellen je Anlage
2	weniger Produktionsstränge, Produktionsausfall mit großen ökonomischen Schäden	Erhöhung der Zuverlässigkeit der AA und folglich der Gesamtanlage, höhere Anforderungen an die Prozeßüberwachung und -sicherung
3	Vergrößerung der Anzahl von Überwachungs-, Beobachtungs- und Bedienfunktionen	Aufbau dezentraler AA mit bildschirmorientierter Kommunikation (serielles Kommunikationsprinzip, ergänzt durch parallele Kommunikation)
4	engere Vermaschung (Kopplung) der Anlagenteile	Notwendigkeit der Behandlung und Prozeßsteuerung der Anlage als ganzes System (große Systeme)
5	Erhöhung der Qualität und Kosten der Einsatz-, Zwischen- und Endprodukte (hochwertige wenigtonnagige Produkte) sowie der Genauigkeit	genauere Messung, Regelung, Steuerung; Zuverlässigkeit, Sicherheit der AA; Formulierung der Güteforderungen (Gütefunktional)
6	schnellere Prozeßdynamik als Folge eingesparter Zwischenspeicher	Erhöhung der Informationsübertragungs- und -verarbeitungsgeschwindigkeit
7	wachsende Kompliziertheit der technologischen Prozesse, optimale Betriebsweise der Anlage	kompliziertere Regelungsalgorithmen; Erhöhung des Analyse- (Prozeß und alle Signale) und Entwurfsaufwandes (Mehrgrößensysteme, Systeme mit verteilten Parametern, zeitvariante Systeme u. a.)
8	Prozeßanalyse im laufenden Betrieb, Durchführung und Auswertung des Probebetriebes	Echtzeitidentifikation bei minimalem Aufwand für Meßtechnik und Auswertung zum Zwecke der Struktur- und Parameterfindung (Adaption, Optimierung
9	Verkürzung der mittleren Einsatzdauer einer bestimmten Produktionstechnologie	Anpaßbarkeit der AA (z. B. Informationsverarbeitung, Kommunikation)
10	Erhöhung des technischen und technologischen Niveaus der Produktionsprozesse durch wissenschaftlich-technische Neuerungen	Verbesserung der Organisation und Leitung dieser Prozesse, d. h. bessere operative Produktionsdurchführung und Produktionslenkung

Tafel 3. Entwicklungsetappen der Automatisierungstechnik

Zeit	Merkmale der Etappe		dominierende Gerätetechnik	Informationsgewinnung (dezentral)	Informationsverarbeitung (räumlich, funktionell)	Prozeßsteuerung, Prozeßführung	Mensch-Maschine-Kommunikation (Prozeßleittechnik)
	Technik	Theorie					
bis 1940	**Meßtechnik** Messung der Prozeßgrößen von Einzelobjekten	fast ohne Theorie (Nutzung der klassischen Gerätetechnik)	Meßgeräte, individuelle analoge Einzelgeräte, Vor-Ort-Regler, spezielle Einrichtungen	bevorzugt mechanisch	dezentral, parallel	dezentral, manuell	
1940 bis 1950	**Regelungstechnik, Stelltechnik,** Regelung der Prozeßgrößen von Einzelobjekten	Entwicklung der klassischen Systemtheorie	Regler (ohne Versorgungsenergie, hydraulische, pneumatische)	mechanisch, elektrisch		dezentral, maschinell	parallel
1950 bis 1960	**Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik** Automatisierung von Teilanlagen	Nutzung der klassischen Systemtheorie	Meßumformer, Baukastensysteme (elektrische), Einheitssysteme (firmengebundene), Relais	elektrisch, mechanisch	zentral (Warten), parallel		
1960 bis 1975	**Prozeßrechentechnik** Automatisierung von Anlagen	Entwicklung der modernen Systemtheorie	ursamat-System, Prozeßrechner, Kleinsteuerrechner, ursamat K 4000	bevorzugt elektrisch	zentral, seriell	zentral, maschinell	parallel, seriell, Nulltrend-Prinzip, entscheidende Verbesserung (Bedienkomfort)
ab 1975	**Mikroprozeßrechentechnik** Automatisierung von Anlagen (große Systeme)	Ausarbeitung adäquater Theorien (Identifikation, Regelung, Optimierung u. a.)	Mikroprozeßrechner, Bildschirmsysteme, mikroelektronische dezentrale Automatisierungssysteme	elektrisch, elektronisch	dezentral, hierarchisch, seriell (quasi-parallel)		seriell (quasi-parallel), Warten mit farbbildschirmorientierten Fahrständen (Sitzarbeitsplatz des Operateurs)

70er Jahre wurden zahlreiche zentrale Prozeßrechnersysteme eingesetzt; die Einführung der Mikroelektronik zeigte sich an Mikroprozeßrechnereinsätzen für die Prozeßsteuerung und Kommunikation.

– Gebäudeautomatisierung: Während in den 50er und 60er Jahren hauptsächlich Gebäude und haustechnische Anlagen einer Zweckbestimmung, z. B. Kühlhäuser, Kulturhäuser u. ä., automatisiert wurden, sind die 70er und der Beginn der 80er Jahre dadurch gekennzeichnet, daß ganze Gebäudekomplexe, z. B. der Palast der Republik, das Chirurgisch-orientierte Zentrum der Charité in Berlin u. a., einer automatisierten Steuerung und Überwachung gebäudetechnischer Anlagen unterzogen wurden. Charakteristisch ist die Automatisierung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen.

3. Einfluß der Mittel zur Automatisierung auf die technische Vorbereitung

In diesem Abschnitt werden wichtige Mittel zur Automatisierung charakterisiert und ihr Einfluß auf das Niveau der TeVo angedeutet (s. Bild 1). Auf die Vorleistungen des Auftraggebers/Betreibers und den Erfahrungsschatz des Projektingenieurs wird nicht eingegangen.
Zur Automatisierung technologischer Anlagen und Prozesse ist eine Reihe von Mitteln erforderlich, die die Art und Weise, die Methoden, Effektivität und Qualität der TeVo bestimmen. Die Mittel selbst unterliegen aufgrund verschiedener Einflüsse quantitativen und qualitativen Veränderungen, die in wesentlichen Zügen dargestellt werden sollen [29]. Wichtige Mittel (neben der TeVo) zur Automatisierung sind:

- Theoretische Grundlagen der Automatisierungstechnik
- Automatisierungsgerätetechnik (Hardware)
- Methoden und Mittel zur Softwareerarbeitung (Software)
- Arbeitsvorschriften und Arbeitsmittel für die technische Vorbereitung
- Prinzipien der Mensch-Maschine-Kommunikation (Prozeßleittechnik)
- Automatisierungsgerechte Prozeß- und Anlagengestaltung.

Die Betrachtungen zur Entwicklung der einzelnen Mittel erfolgten weitestgehend anhand der Tafel 3, die in Anlehnung an [4] [13] [18] [30] und [31] entstand.

3.1. *Theoretische Grundlagen der Automatisierungstechnik*

Die theoretische Basis der Automatisierungstechnik sind die Zweige der theoretischen Kybernetik:

- Systemtheorie
- Regelungstheorie
- Informationstheorie
- Algorithmentheorie
- Automatentheorie
- Lerntheorie
- Spieltheorie u. a.

Es gehören also solche Disziplinen dazu, wie die theoretische und experimentelle Prozeßanalyse (Signal- und Systemanalyse), auf deren Ergebnissen z. B. die Theorie der automatischen Steuerung aufbaut.
Gemäß Tafel 3 lassen sich für das vorgegebene Zeitraster entsprechende Entwicklungsetappen der Theorie angeben. Markant ist die Tatsache, daß mit dem Aufkommen der Prozeßrechentechnik in den 60er Jahren die Theorie stimulierende Impulse (z. B. Abtastsysteme, DDC-Algorithmen) erhielt und die moderne Systemtheorie entwickelt wurde. Weitere kräftige Anstöße brachte die Einführung der Mikroprozeßrechentechnik ab Anfang der 70er Jahre (z. B. dezentrale Regelung). Auch in der Fachliteratur spiegelt sich die Entwicklung der Theorie wider [2] [5] [7] und [17].
Auswirkung auf die technische Vorbereitung: Der theoretische Apparat für Analyse und Synthese automatisierter Systeme ist anspruchsvoller geworden und schwieriger ingenieurmäßig zu handhaben. Der theoretische Vorlauf im Verhältnis zur praktischen Realisierung ist erheblich.

3.2. *Automatisierungsgerätetechnik (Hardware)*

Die gerätetechnische Basis ist eine Grundbedingung für die Automatisierung. Die Automatisierungstechnik zeichnet sich ja gerade dadurch aus, daß anstelle des Menschen zweckentsprechende technische Einrichtungen die selbsttätige Steuerung von Prozessen (automatische Prozeßsteuerung) übernehmen. In Tafel 3 ist die dominierende Gerätetechnik mit Schlagworten genannt. Aus der Spalte zur Informationsgewinnung sind die bestimmenden Wirkprinzipien von mechanischen über die elektrischen bis zu elektronischen angegeben [18] und [31].
Bis etwa 1950 dominierten individuelle analoge Einzelgeräte (Bild 2) [16]. Danach kamen Regler mit elektrischen Funktionselementen zum Einsatz [15] und [16]. Als erstes elektrisches Regelungssystem wurde 1957 in der DDR die WTBG-Kessel-

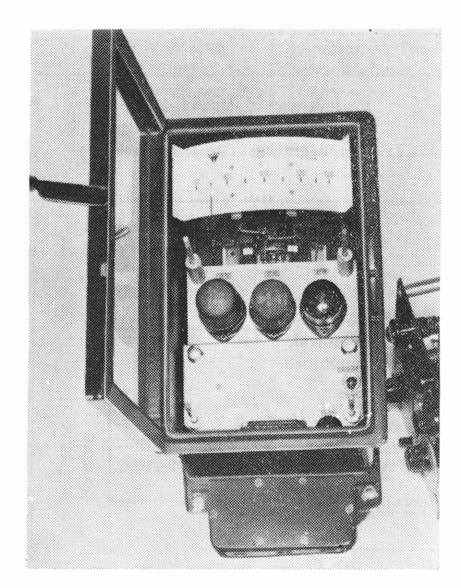


Bild 2. Elektronischer Regler; Typ EGP 72

Hersteller: VEB Meßgerätewerk Quedlinburg, konstruiert etwa 1955; Foto: *V. Pullwitt*

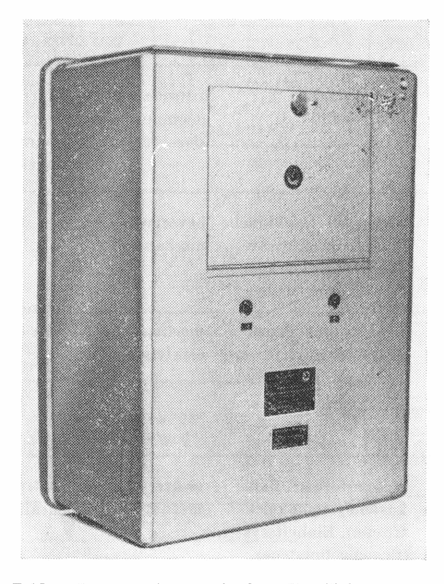


Bild 3. Regler mit magnetischem Verstärker

Gerät aus dem WTBG-System, dem ersten Automatisierungssystem der DDR; Hersteller: Institut für Regelungstechnik Berlin, konstruiert etwa 1957; Foto: *V. Pullwitt*

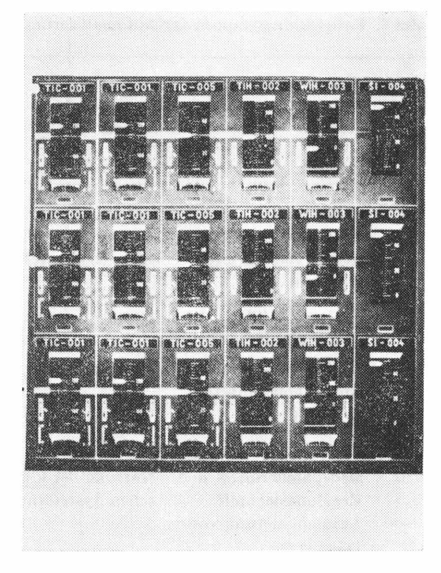


Bild 5. Gerätekomplex der Nulltrendtechnik

Hersteller: VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg, vom VEB RGW Teltow in Wartenfronten eingesetzt; Baujahr: etwa 1970

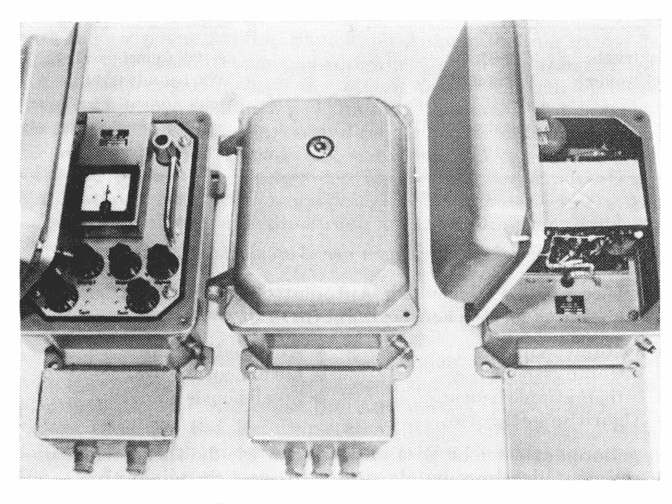


Bild 4. Geräte des UEB-Systems, dem ersten international abgestimmten Automatisierungssystem der DDR

Hersteller: VEB GRW Teltow; Baujahr: etwa 1960; Foto: *V. Pullwitt*

regelung (WTBG Wissenschaftlich-technisches Büro für Gerätebau, heute Institut für Regelungstechnik Berlin) zur Absicherung des Energieprogramms eingesetzt (Bild 3). Wenig später (1961) folgte das Universelle Einheitliche Baukastensystem (UEB-System, auf Röhrenbasis) [15] und [16] (Bild 4). Beginnend mit dem Jahre 1965 wurde das universell einsetzbare Gerätesystem ursamat²) in die Produktion übergeleitet [3]. Seit den 70er Jahren dominiert in den Warten die Nulltrendtechnik [15] (Bild 5).
Sehr deutlich treten die Generationswechsel [14] hervor, z. B. bei der Ablösung der ersten Einheitssysteme durch das ursamat-System oder bei der Integration von Prozeßrechnern der Familie 4000 (PRS 4000, KRS 4200/4201) in das ursamat-System (Erzeugnissystem ursamat K 4000) [32]. Das zentrale Anlagenkonzept wurde schließlich durch dezentrale Automatisierungssysteme, z. B. „audatec", abgelöst [22]. Die Literatur legt ein gutes Zeugnis dieser Entwicklung ab, z. B. [2] [3] [6] und [20]. Die Prozeß- und Mikroprozeßrechentechnik [1] [6] [8] und [20] bringen eine weitere neue Komponente für die technische Vorbereitung — die Programmtechnik. Sie hat positive Auswirkungen auf die Anpassung der AA an den Prozeß während der Inbetriebnahme.
Auswirkung auf die technische Vorbereitung: Das Sortiment und die Variantenvielfalt der Automatisierungsgeräte, der Gefäße, des Zubehörs ist in den letzten vier Jahrzehnten auf ein sehr hohes Maß angewachsen. Für die Projektierung ergaben sich dadurch erhebliche Erschwernisse, so daß der Aufwand naturgemäß steigen mußte (z. B. Variantenvergleich mehrerer Systeme).

3.3. Methoden und Mittel zur Softwareerarbeitung (Software)

Seit der Einführung der Prozeß- und Mikroprozeßrechentechnik ist die TeVo von AA mindestens um folgende Aufgabenkomplexe erweitert worden:

- Strukturierung und Parametrierung von Standardprogrammen (Software-Basismodule) zur Lösung der Automatisierungsfunktionen
- Völlige Neuprogrammierung vorgegebener Algorithmen, evtl. einschließlich Betriebssystem für Prozeß- und Mikroprozeßrechner unter Beachtung standardisierter Schnittstellen
- Generierung des Softwaresystems (Firmware) für die mikroelektronischen Einrichtungen dezentraler Automatisierungssysteme
- Testung und Inbetriebnahme des kompletten Programmsystems.

Die drei letzten Aufgaben sind für die TeVo die zeitaufwendigsten und schwierigsten. Zwar gibt es Systeme zur Entwicklung von Mikroprozeßrechnerprogrammen (Wirtsrechner mit Cross-Software, Testrechner), jedoch erfolgt die Programmierung häufig noch auf dem Niveau von Assemblersprachen, weniger in höheren Programmiersprachen. Ein moderner Projektierungsbereich ist ohne ein leistungsfähiges Programmier- und Testzentrum nicht mehr denkbar [8].
Auswirkung auf die technische Vorbereitung: Die Prozeß- und Mikroprozeßrechentechnik brachten eine völlig neue Komponente in die TeVo ein: die Softwareentwicklung, -projektierung, -generierung und -inbetriebnahme.

3.4. Arbeitsvorschriften und Arbeitsmittel für die technische Vorbereitung

Entsprechend dem Stand der Gerätetechnik, der Theorie und der Automatisierungsanlagentechnik insgesamt war auch der Stand der Arbeitsvorschriften und Arbeitsmittel. Wodurch ist dieser Stand in den letzten Jahrzehnten gekennzeichnet? Es wurden unterschiedliche visuelle Arbeitsmittel eingesetzt:
1950 bis 1960: Gesetzblätter und innerbetriebliche Anweisungen, firmengebundene Prospekte und Lieferkataloge, erste Typenblätter

⇒ Projektierung auf der Basis von Firmenschriften

1960 bis 1970: Standardsammlung (durchgreifende Standardisierung), Zentraler Artikelkatalog (ZAK) (ab 1968 zweite Auflage: ZAK für Elektrotechnik/Elektronik), Projektierungskennblätter, Projektierungshandbuch

⇒ Projektierung nach Firmenschriften/Beginn der Katalogprojektierung

²) ursamat — universelles System von Geräten und Einrichtungen zur Gewinnung, Übertragung, Verarbeitung, Nutzung und Darstellung von Informationen für die Automatisierung technologischer Prozesse.

ab 1970: Katalog „Automation — Projektierungsvorschriften" (KAPV), Katalog „Automation — Bauteile" (KAB), Katalog „Automation — Funktionssysteme" (KAFS), ZAK der Volkswirtschaft der DDR (ab 1. Januar 1972); die Kataloge sind verbindliche Arbeitsmittel

⇒ Katalogprojektierung, schrittweise Nutzung von EDV-Anlagen (R 300, ESER 1040) für Ausrüstungsliste u. ä.

Mit der Einführung der Mikroprozeßrechentechnik vorrangig in Gestalt kompletter dezentraler Automatisierungssysteme für die Meßwertverarbeitung, Regelung, Steuerung, Kommunikation und Prozeßführung (s. Tafel 3) werden z. B. für die Projektierung der Software (Firmware) mikrorechnergestützte Arbeitsmittel eingesetzt (z. B. bei „audatec" der Generierarbeitsplatz), die eine Dialogprojektierung gestatten (Tastatur, Farbbildschirm).
Auswirkung auf die technische Vorbereitung: Die in den letzten Jahrzehnten entwickelten visuellen Arbeitsmittel trugen zur Erhöhung der Effektivität der TeVo und der Qualität der Projekte bei. Der allgemeine Stand dieser Arbeitsmittel kann als gut eingeschätzt werden. Eine grundlegende Verbesserung auf diesem Gebiet ist schwerlich zu erzielen, denn die neue Technik verlangt auch nach adäquaten Mitteln für die TeVo in Gestalt mikrorechnergestützter Systeme für Entwurf, Projektierung und Konstruktion (computer aided design — CAD) [25] und [26].

3.5. *Prinzipien der Mensch-Maschine-Kommunikation (Prozeßleittechnik)*

Es ist schon lange durch die Automatisierungspraxis bestätigt, daß das Ziel der Automatisierung nicht in der vollständigen Eliminierung des Menschen aus einem automatisierten System besteht. Im Gegenteil: die gut abgewogene Einbeziehung des Menschen in eine AA im Sinne einer optimalen Prozeßsteuerung und -führung stellt eine nicht zu vernachlässigende Komponente der Automatisierungstechnik dar.
Mit der Einführung der Prozeß- und Mikroprozeßrechentechnik in den 60er und 70er Jahren vollzog sich der schrittweise Übergang vom parallelen zum seriellen Kommunikationsprinzip. Während für die Projektierung von Warten mit konventioneller Anzeige-, Bedien-, Leit- und Registriertechnik ein erheblicher Aufwand getrieben werden mußte, läßt die Hardwareprojektierung farbbildschirmorientierter Fahrstände auf eine Verringerung des Aufwandes schließen. Dabei ist mit einem erheblichen Aufwand für die vorbereitenden konzeptionellen Schritte und die Softwareprojektierung zu rechnen. Die Entwicklung ist in Tafel 3 dargestellt.
Auswirkung auf die technische Vorbereitung: Die teilweise oder vollständige Durchsetzung des seriellen Prinzips der Mensch-Maschine-Kommunikation führt zur Verlagerung vorbereitender konzeptioneller Arbeiten in frühere Phasen der Investitionsvorbereitung. Die Softwareprojektierung ist eine neue Komponente bei der TeVo für die Mensch-Maschine-Kommunikation.

3.6. *Automatisierungsgerechte Prozeß- und Anlagengestaltung*

Wie bereits im Abschn. 1. dargestellt wurde, besteht eine enge Wechselwirkung zwischen technologischem Prozeß (Technologie) bzw. technologischer Anlage (Maschinentechnik) und Automatisierungstechnik. Das Ziel besteht darin, die Prozesse entsprechend ihren physikalischen, chemischen, thermischen, strömungstechnischen u. a. Gesetzen ökonomisch ablaufen zu lassen. In den Anfängen der Automatisierung wurden häufig Automatisierungseinrichtungen auf die Apparate und Anlagen „aufgepfropft", und durch Feindimensionierung wurde eine befriedigende Funktion angestrebt [4].
In den letzten Jahrzehnten haben sich rasante Neuerungen auf technologischem Gebiet durchgesetzt (s. Tafel 2). Diese stehen nicht selten im Widerspruch zu den Möglichkeiten der Automatisierungstechnik. Mit erheblich größerem Aufwand in der TeVo können (leider nicht immer, was dem Ansehen der Automatisierungstechnik schadet) Vernachlässigungen und Versäumnisse bei der Gestaltung der Maschinen, Aggregate, Anlagen und Prozesse (statisches und dynamisches Verhalten, Meß- und Stellmöglichkeit, Kopplung von Prozeßgrößen und Anlagenteilen u. a.) ausgeglichen werden [19].
Auswirkung auf die technische Vorbereitung: Die großen Veränderungen in der Verfahrens- und Anlagentechnik verlangen größere Anstrengungen in der TeVo für den Entwurf und die Projektierung wie auch für viele andere Gebiete der Automatisierungstechnik (s. Tafel 2). Der technologische Prozeß/die technologische Anlage bestimmt maßgeblich die AA.

4. Technische Vorbereitung

4.1. *Wissenschaftliche Durchdringung der TeVo*

Besonders im letzten Jahrzehnt haben sich zahlreiche Fachleute den Fragen der wissenschaftlichen Durchdringung der TeVo gewidmet [9] bis [12]. Dabei standen Analyse, Algorithmierung und Rationalisierung der TeVo im Vordergrund. In Anbetracht dessen, daß die Produktivität in der TeVo aufgrund des hohen Anteils an wissenschaftlich-technischer, technisch-organisatorischer und schöpferischer Tätigkeit bedeutend langsamer steigt als die Arbeitsproduktivität in der materiellen Produktion, kommt der effektiven Gestaltung der TeVo gesamtgesellschaftlich eine außerordentlich hohe Bedeutung zu. Die wissenschaftliche Analyse der TeVo, ihrer Technologie, der Arbeitsmittel usw. ist nach wie vor in vollem Gange [11] und [12].
Aus einer ganzen Reihe von Aufgaben seien einige genannt:

- Berücksichtigung der neuen mikroelektronischen Automatisierungssysteme und ihrer Besonderheiten, z. B. Programmierbarkeit, serielles Kommunikationsprinzip, dezentrale Anlagentopologie (optimaler Strukturentwurf)
- Beachtung der Innovation in der Technologie und der Entwicklungen in der Verfahrens- und Anlagentechnik
- Festlegung einer Basis für die Messung der Produktivität bzw. der Leistung der TeVo, denn der Wert einer AA spiegelt beim Einsatz teurer Gerätetechnik nicht unbedingt den TeVo-Aufwand wider
- Vorbereitung und Einsatz arbeitszeitsparender mikrorechnergestützter Dialog-Projektierungsarbeitsplätze u. a.

Betrachtet man die TeVo als Teil des hierarchischen Entstehungs- und Entscheidungsprozesses einer AA, so gehört die TeVo zur taktisch-operativen Entscheidung [23]. Die in [8] erhobene Forderung, die Projektierung auf eine gesicherte theoretische Basis zu heben, gewinnt unter den gegenwärtigen Bedingungen immer mehr an Bedeutung.

4.2. *Institutionalisierung der TeVo*

In dem Maße, wie der Bedarf an AA in den letzten drei bis vier Jahrzehnten gestiegen ist, hat sich auch der Umfang der TeVo erhöht. Den Bedarf stimulierende Faktoren waren z. B. die Energie- und Kraftwerkstechnik, die chemische Industrie (Chemieprogramm 1958), die Metallurgie und Grundstoffindustrie.
Die meist kleinen Projektierungsgruppen wurden schrittweise vergrößert, so daß in den 60er und 70er Jahren leistungsfähige Projektierungsabteilungen und z. T. eigenständige Projektierungsbüros und Projektierungsbetriebe entstanden. Am Beispiel des VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow läßt sich die Entwicklung augenscheinlich verfolgen: Aus einem Geräteproduzenten ging ein leistungsfähiger Betrieb hervor, der die Entwicklung, Projektierung, Herstellung, Lieferung, Montage und Inbetriebnahme kompletter AA für viele Bereiche der Volkswirtschaft übernimmt. Integriert im VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau Berlin trägt er maßgeblich zur Automatisierung technologischer Anlagen bei.
Infolge der Konzentration Dutzender, ja Hunderter von Projektingenieuren, Konstrukteuren usw. in Projektierungsbereichen kam es zu einer „Institutionalisierung" der TeVo, d. h., in den TeVo-Bereichen haben sich eine bestimmte Arbeitsteilung, Projektierungsmethodik, ein bestimmter Projektdurchlauf, eine angepaßte Struktur usw. herausgebildet. Die Anforderungen an die Leitung und Führung sind erheblich gewachsen.
Jede neue Geräte- und Anlagengeneration blieb nicht ohne Einfluß auf die TeVo-Bereiche. Die Prozeß- und Mikroprozeßrechentechnik erforderten z. B. den Aufbau von Programmier- und Testzentren zur „Softwareproduktion". Die Bedeutung derartiger Einrichtungen wird sich, wie internationale Entwicklungen zeigen, in Zukunft weiter erhöhen. Deshalb sind rechtzeitig die notwendigen Voraussetzungen dafür zu schaffen.

4.3. *Zur TeVo bei dezentralen mikroelektronischen AA*

Die Einführung dezentraler mikroelektronischer Automatisierungssysteme und die darauf basierenden AA stellt eine Reihe neuer Forderungen an die TeVo [28]:

- Zur Ausnutzung der Systemeigenschaften (z. B. der dezentrale Charakter der Automatisierungssysteme) vollzieht sich eine Verlagerung des Aufwandes und Anlagenentwurfs (Festlegung der Grundstruktur der AA, Entwurf angestrebter struktureller Anlagenzuverlässigkeit, Entwurf optimaler Anlagentopologie u. a.) in die frühen Phasen des Investitionsprozesses, so daß die angestrebten Effekte auch wirksam werden (Aufwandsverringerung und Zeiteinsparung insge-

samt). Die Systemanalysen gewinnen immer mehr an Bedeutung [8] und [24]
- Der Strukturentwurf vollzieht sich im allgemeinen in zwei Schritten nach der Top-down-Methode [21]:
  . *Grobstruktur*: Verteilung dezentraler Informationsverarbeitungseinrichtungen im Anlagenfeld bzw. ihre dezentral-zentralisierte Anordnung (z. B. außerhalb von Ex-Zonen in Anlagennähe [22]). Die Festlegung der Topologie der AA ist eine relativ selbständige Aufgabe [11]. Eine besondere Rolle spielt das Warten-, Fahrstand- und Leitstandkonzept
  . *Feinstruktur*: Festlegung des hard- und softwareseitigen funktionellen Leistungsumfanges der mikroelektronischen Einrichtungen einer dezentralen AA (z. B. im Automatisierungssystem „audatec" die Fixierung der Funktionen der Basiseinheiten und Pultsteuerrechner [22] und [27]). Durch die Systemkommunikation gibt es bestimmte Freiheitsgrade bei der Inbetriebnahme und während des Betriebes [24]
- Die Hardwareprojektierung (Instrumentierung) und Softwareprojektierung (Generierung) sind sehr eng miteinander verbunden und bilden inhaltlich eine Einheit; ihre Verquickung wirft für die Projektierung und die gesamte weitere Entstehung der AA neue Fragen und Probleme auf (Prüfung, Inbetriebnahme, Instandhaltung, Anlagenverfeinerung u. a.)
- Die Programmierung übergeordneter Prozeßrechner oder mikroelektronischer Einrichtungen mit freiprogrammierbaren Speichern zwingt zur „Softwareproduktion", wozu nicht einfach zu erfüllende materielle und personelle Voraussetzungen notwendig sind
- Die Rationalisierung der TeVo mit solchen Effekten, wie Verkürzung der Projektlaufzeit, einheitliche und systematische Anlagengestaltung, Erhöhung der Qualität der Projekte, Erleichterung der Prüfung und Inbetriebnahme u. a., auf der Basis mikrorechnergestützter TeVo-Arbeitsplätze (CAD-Systeme) bieten sich bei mikroelektronischen AA in allen TeVo-Phasen nicht nur an, sondern sind notwendig (z. B. Generierung am mikrorechner- und farbbildschirmorientierten Generierarbeitsplatz von audatec-Anlagen) [25] und [26].

Auf mögliche künftige Veränderungen im Zuge der Einführung einer zweiten Generation von mikroelektronischen AA wird in [8] und [30] eingegangen.

5. Einige Schlußfolgerungen

Die aus den vorangegangenen Betrachtungen abgeleiteten Schlußfolgerungen stellen in ihrer Reihenfolge keine Wertung dar und bedürfen weiterer Diskussion und entsprechender Präzisierung:

- Entscheidenden Einfluß auf die technische Vorbereitung von AA hat die Verfahrens- und Anlagentechnik. In dem Maße, wie sich die Technologie entwickelt, wachsen die Anforderungen an die technische Vorbereitung (Spezialisierung auf technologische Linien)
- Innerhalb der Automatisierungstechnik bestimmen die technischen Mittel (z. B. Hardware, Software, Arbeitsmittel) maßgeblich das Niveau der technischen Vorbereitung. Jede Geräte- und Anlagengeneration bringt eine adäquate technische Vorbereitung hervor
- Aufgrund der wichtigsten Einflußfaktoren zeichnet sich eine gesetzmäßige Erhöhung der Quantität und Qualität der technischen Vorbereitung von AA ab
- Die steigenden Aufgaben (quantitativ und qualitativ) in der technischen Vorbereitung zwingen zu durchgreifender Rationalisierung nicht nur routinemäßiger, sondern auch der Entwurfsarbeiten. Ein zeitmäßiges Rationalisierungsmittel sind mikrorechnergestützte Dialogarbeitsplätze für Entwurf, Projektierung, Konstruktion, Generierung u. a.
- Die fachlichen Anforderungen an den Projektingenieur steigen ständig. Deshalb ist der zielgerichteten Ausbildung und Qualifizierung von Projektingenieuren besonderes Augenmerk zu widmen.

Zusammenfassung

Ausgehend von den sich wechselseitig bedingenden Säulen der Anlagentechnik, von denen Maschinentechnik, Technologie und Automatisierungstechnik betrachtet werden, wird die Entwicklung der Verfahrens- und Anlagentechnik als wichtige Einflußgröße auf die technische Vorbereitung skizziert. Folgende Mittel zur Automatisierung werden übersichtsmäßig behandelt: Theoretische Grundlagen der Automatisierungstechnik, Automatisierungsgerätetechnik (Hardware), Methoden und Mittel zur Softwareerarbeitung (Software), Arbeitsvorschriften und Arbeitsmittel für die technische Vorbereitung, Prinzipien der Mensch-Maschine-Kommunikation (Prozeßleittechnik), automatisierungsgerechte Prozeß- und Anlagengestaltung.
Bei der technischen Vorbereitung selbst wird auf die wissenschaftliche Durchdringung, die Institutionalisierung und Fragen bei der Projektierung mikroelektronischer Automatisierungsanlagen eingegangen. Einige Schlußfolgerungen beschließen die Betrachtungen. Die historischen Darlegungen berücksichtigen den Zeitraum der letzten vier Jahrzehnte.
Der Beitrag berücksichtigt zahlreiche Hinweise von Fachkollegen, denen der Verfasser für ihr Interesse danken möchte.

Literatur

[1] *Müller, R.:* Projektierung von Automatisierungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.
[2] *Oppelt, W.:* Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge. Berlin: VEB Verlag Technik 1967.
[3] Autorenkollektiv: Ursamat-Handbuch. Berlin: VEB Verlag Technik 1969.
[4] *Bechstein, E.; Hesse, S.:* Aus der Geschichte der Automatisierungstechnik. Band 166 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
[5] *Reinisch, K.:* Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
[6] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[7] *Korn, U.; Wilfert, H.-H.:* Mehrgrößenregelungen. Moderne Entwurfsprinzipien im Zeit- und Frequenzbereich. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.
[8] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Automatisierunsgtechnik. Gegenwart und Zukunft. Band 200 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.
[9] *Müller, R.:* Untersuchungen zur Projektierung und Produktionsvorbereitung der Automatisierung verfahrenstechnischer Anlagen und dazu notwendiger Einrichtungen. Dissertation B, TH Magdeburg 1974.
[10] *Brack, G.:* Beiträge zur Rationalisierung und Algorithmierung des Entwurfs von Automatisierungssystemen für Fließprozesse. Dissertation B, TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg 1976.
[11] *Bennewitz, W.:* Strategie zur Lösung topologischer Probleme in der Projektierung von Automatisierungsanlagen auf der Basis von Mikrorechnern. Dissertation B, TH Leipzig 1981.
[12] *Franke, H.:* Zum Einfluß des Mikrorechnereinsatzes auf Automatisierungsstrukturen und Ausführungsprojektierung. Dissertation A, TU Dresden 1981.
[13] *Ankel, Th.; Pavlik, E.:* Regelungstechnik am Wendepunkt. Regelungstechnik 27 (1979) 1, S. 3–11.
[14] *Britall, W.:* Betrachtungen zum Generationswechsel von Automatisierungsanlagen. Technische Information GRW, Teltow 10 (1972) 5, S. 195 bis 201.
[15] *Rohr, H.:* Zur historischen Gerätesammlung der Technischen Hochschule. Elektrie, Berlin 32 (1978) 1, S. 33–36.
[16] *Rohr, H.:* Historisches zur Automatisierungstechnik. Der Elektro-Praktiker, Berlin 33 (1979) 10, S. 341–344.
[17] *Rohr, H.; Müller, G.; Neuhaus, D.:* Zur Geschichte der Regelungstechnik. msr, Berlin 23 (1980) 6, S. 345–349.
[18] *Rohr, H.;* Etappen zur MSR-Geräteentwicklung zwischen 1900 und 1965. msr, Berlin 24 (1981) 9, S. 525–534.
[19] *Ringelspacher, G.; Weiß, W.:* Erzielung günstiger dynamischer Eigenschaften verfahrenstechnischer Regelstrecken. Technische Information GRW 13 (1975) 1, S. 42–48.
[20] *Fritzsch, W.:* Prozeßrechentechnik. Automatisierte Systeme mit Prozeß- und Mikroprozeßrechnern. Berlin: VEB Verlag Technik 1981.
[21] *Böhm, U.; Kretschmer, F.; Lehnig, B.:* Top Town oder Bottom UP. rd, Berlin 16 (1979) 6, S. 30–33.
[22] *Müller-Zahn, K.-H.:* Die Einrichtungen des Automatisierungssystems audatec für verfahrenstechnische Anlagen. Wissenschaftlich-technische Informationen des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, Berlin 18 (1982) 4, S. 138–144.
[23] *Müller, G.:* Entstehungshierarchie einer Automatisierungsanlage mit dem Automatisierungssystem „audatec". msr, Berlin 26 (1983) 1, S. 22–24.
[24] *Müller, G.:* Entwurf und Projektierung von audatec-Regelsystemen. Wissenschaftlich-technische Informationen des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, Berlin 19 (1983) 1, S. 2–7.
[25] *Werler, K.-H.:* Architektur rechnerunterstützter Systeme der TeVo. edv-aspekte 1 (1982) 4, S. 47–50.
[26] *Matsushima, K.:* Stand der CAD-Technologie in Japan. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 77 (1982) 6, S. 269.
[27] *Müller, G.:* Einsatz einer autonomen Automatisierungseinrichtung des Systems audatec an Siemens-Martin-Öfen. Wissenschaftlich-technische Informationen des VEB KAAB und KEA 19 (1983) 3, S. 109–111.
[28] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Automatisierungssysteme mit Mikroprozeßrechnern — Konsequenzen für die Projektierung. msr, Berlin 21 (1978) 8, S. 427–432.
[29] *Töpfer, H.:* Wechselwirkungen zwischen Theorie, Gerätetechnik und Anlagenprojektierung. rt 27 (1979) 1, S. 12–18.
[30] *Fuchs, H.; Bahrs, U.:* Bemerkungen zur Entwicklung der Automatisierungstechnik. msr, Berlin 25 (1982) 1, S. 2–7.
[31] *Britall, W.:* Zur Entwicklung der Automatisierungsanlagentechnik in der DDR. msr, Berlin 17 ap (1974) 10, S. 229–232.
[32] *Britall, W.; Müller, R.; Pilz, S.:* Betrachtungen zu BMSR-Anlagen mit Prozeßrechnern für die komplexe Automatisierung. Technische Information GRW, Teltow 9 (1971) 1/2, S. 1–10.
msr 7873

A. Krauß[1])

HF-Digitalgranulatfeuchtemesser

0. Einleitung

Die meßtechnische Erfassung des Feuchtegehaltes granulierter bzw. pulverförmiger Stoffe ist für die Beurteilung von Lagerfähigkeit, Reaktionsfähigkeit, Energieinhalt und zur Bestimmung von Qualitätsparametern von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung. Daraus leitet sich die Notwendigkeit eines vielfältig einsetzbaren, einfach handhabbaren, energiearmen und zuverlässigen Meßverfahrens ab.
Man unterscheidet in der Feuchtemessung allgemein zwischen direkten und indirekten Meßverfahren. Bei den direkten Meßverfahren (z. B. Wäge-Trocknungsverfahren) wird das im Stoff enthaltene Wasser direkt bestimmt. Bei den indirekten Verfahren wird eine Größe des feuchten Stoffes gemessen, die mit der Feuchte in einem funktionellen Zusammenhang steht und für die Messung und weitere Umformung des Meßsignals geeignet ist.
Gegenstand dieses Beitrages ist der Aufbau eines Feuchtemeßgerätes nach dem dielektrischen Wirkprinzip.
Es wurden bereits mehrfach dielektrische Meßverfahren zur Feuchtemessung vorgestellt, die in der Regel aus einer „Konstant-HF-Quelle" und einer nachgeschalteten Auswerteschaltung in Form eines kapazitiven Spannungsteilers bzw. einer Brückenschaltung aufgebaut waren. Im Unterschied dazu soll hier ein Feuchtemeßgerät vorgestellt werden, das nach dem Funktionsprinzip der „Frequenzverschiebung" arbeitet.

1. Wirkungsweise

Bei Meßschaltungen mit Frequenzverschiebung liegt der Meßkondensator im Oszillatorkreis. Eine Änderung der Meßbecherkapazität bewirkt unmittelbar eine Änderung der Oszillatorausgangsfrequenz. Als Demodulator dient ein Frequenzdetektor (Radiodetektor), der an seinem Ausgang eine Spannung abgibt, die von der Frequenzdifferenz Δf zur Bezugsfrequenz f_0 abhängt.

Funktionsprinzip (Bild 1)

Als Meßwertaufnehmer wirkt ein Plattenkondensator, in den das Prüfgut eingebracht wird. Die sich einstellende Kapazitätsänderung bei Anwesenheit von Feuchtigkeit basiert auf der hohen Dielektrizitätskonstante von Wasser ($\varepsilon_r \approx 80$) und der wesentlich niedrigeren relativen Dielektrizitätskonstante der häufigsten festen, dielektrischen Stoffe im trockenen Zustand ($\varepsilon_r \approx 5$).

Darstellung des funktionellen Zusammenhanges zwischen Dielektrizitätszahl- und Frequenzänderung:

Der Meßkondensator hat im ungefüllten Zustand eine Grundkapazität C_0:

$$C_0 = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}\,. \tag{1}$$

$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ (Dielektrizitätskonstante im ungefüllten Zustand); A wirksame Plattenfläche; d Plattenabstand
Bei Einbringung des Prüfgutes in den Meßkondensator ändert sich ε um den Anteil $\Delta\varepsilon$:

$$\left.\begin{aligned} C_0 + \Delta C &= (\varepsilon + \Delta\varepsilon)\cdot\frac{A}{d}\,, \\ C_0 + \Delta C &= C_0\left(1 + \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\right), \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

$$\left.\begin{aligned} 1 + \frac{\Delta C}{C_0} &= 1 + \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\,, \\ \frac{\Delta C}{C_0} &= \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\,. \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Damit ergibt sich ein proportionaler Zusammenhang zwischen Änderung der Dielektrizitätszahl und Kapazitätsänderung. Die sich einstellende Kapazitätsänderung wird mit Hilfe eines *LC*-Oszillators in eine Frequenzänderung ($\omega_0 + \Delta\omega$) umgesetzt.
Der Meßkondensator stellt einen veränderlichen kapazitiven Blindanteil des Oszillatorkreises dar, dessen Ausgangsfrequenz sich nach der Thomsonschen Schwingungsgleichung ergibt:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_0}} \quad \text{(ungefüllter Meßkondensator)} \tag{4}$$

$$\omega_0 + \Delta\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot (C_0 + \Delta C)}} \quad \text{(gefüllter Meßkondensator)}$$

$$1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta C}{C_0}}}\,. \tag{5}$$

Für kleine Kapazitätsänderungen gegenüber der Grundkapazität des Oszillators kann aus einer Potenzreihenentwicklung folgende Näherung gefunden werden:

$$\left.\begin{aligned} 1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0} &\approx 1 - \frac{1}{2}\frac{\Delta C}{C_0}\,, \\ \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\Delta f}{f_0} &\approx -\frac{1}{2}\frac{\Delta C}{C_0}\,. \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

Damit besteht ein annähernd proportionaler Zusammenhang zwischen Dielektrizitätszahl des Meßgutes und der sich einstellenden Frequenzänderung:

$$\frac{\Delta f}{f_0} \approx -\frac{1}{2}\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\,. \tag{7}$$

2. Technische Ausführung

Das Blockschaltbild der Meßanordnung ist im Bild 4 dargestellt. Benutzt wurde ein „Seiler-Oszillator" nach [2] für eine Grundfrequenz von 10,7 MHz (Schaltung s. Bild 5).
Die Verstärkung der Oszillatorspannung erfolgt mit einem IS A281 D. Dieser Schaltkreis kann als FM-Verstärker für Frequenzen um 10,7 MHz im Betriebsspannungsbereich von 4,5 bis 11,0 V eingesetzt werden. Die Außenbeschaltung des IS entspricht im wesentlichen der Meßschaltung des IS A281 D nach [3].
Bild 2 zeigt die Außenbeschaltung des IS A281 D. Hierbei haben die peripheren Bauelemente folgende Aufgaben:

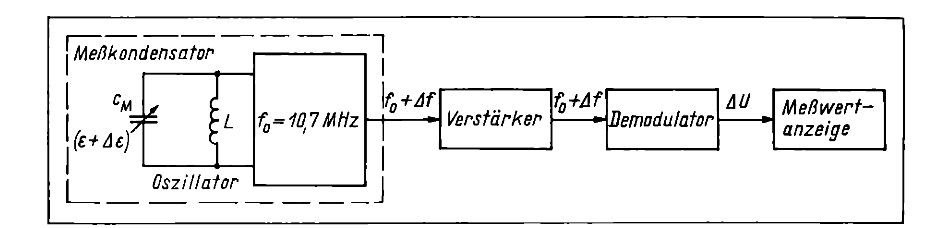


Bild 1. Funktionsprinzip

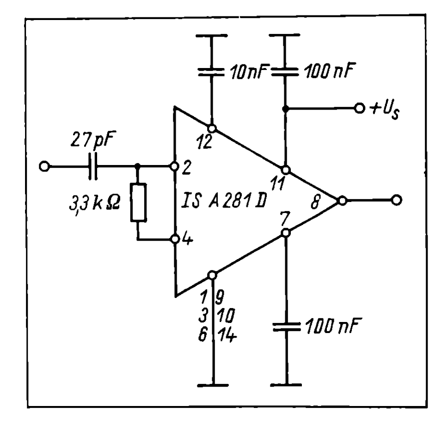


Bild 2. Außenbeschaltung des IS A 281D ▶

[1]) Dr.-Ing. *Albrecht Krauß* (44) erlernte den Beruf eines Elektromechanikers. 1958 bis 1961 studierte er an der Ingenieurschule für Maschinenbau und Elektrotechnik Wismar „Starkstromtechnik". 1961 bis 1963 Projektant in der Matthias-Thesen-Werft Wismar. 1966 bis 1972 Hochschulfernstudium im Fach „Informationselektronik" an der TU Dresden. 1977 Promotion zur Problematik „Instabilitätsuntersuchungen an Schwachstromkontakten". Seit 1977 Leiter der Zentralwerkstatt für Wissenschaftlichen Gerätebau der IH Wismar.

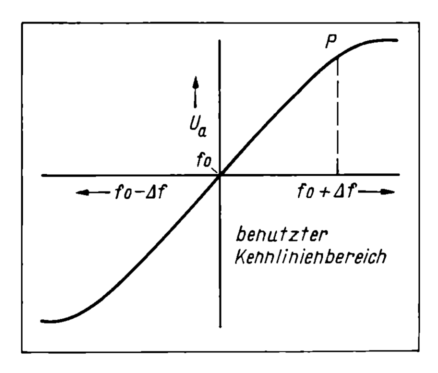


Bild 3. Kennlinie des Frequenzdetektors

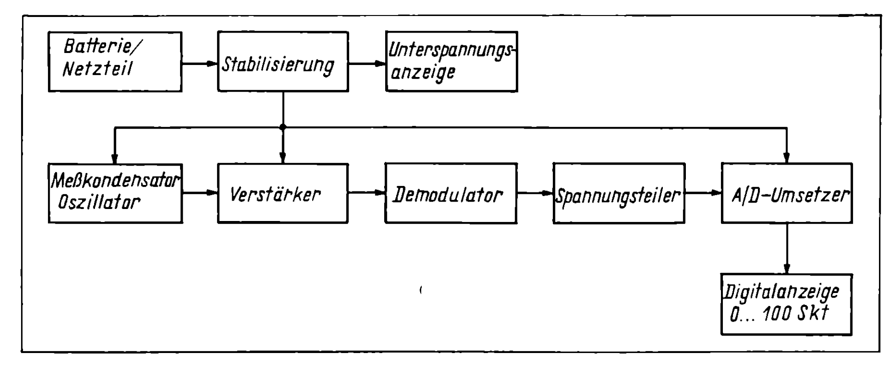


Bild 4. Blockschaltbild

Bild 5. Schaltplan

R_{14} Arbeitspunkteinstellung des IS-Eingangstransistors T_1';
C_8 Koppelkondensator zur Trennung von Oszillator und IS A281 D;
C_9 Abblockkondensator für den Endstufentransistor T_3;
C_{10} Basiskondensator für den als R_a geschalteten Transistor T_4';
C_{11} Siebkondensator für die Betriebsspannung.

Die Demodulation der frequenzmodulierten Schwingung erfolgt durch einen Frequenzdetektor.
Dieser hat folgende Aufgaben:

- Unterdrückung der möglichen Amplitudenschwankungen (Begrenzung)
- Umwandlung der Frequenzmodulation in eine Amplitudenmodulation
- Demodulation der Amplitudenmodulation.

Die Bemessung der Demodulationsschaltung erfolgt nach [1]. Die Kennlinie des Frequenzdetektors (Bild 3) gibt den Zusammenhang zwischen Frequenzänderung und Ausgangsspannung wieder.
Durch wechselseitigen Abgleich der Primär- und der Sekundärspule des Frequenzdetektors läßt sich erreichen, daß sich der genutzte Meßbereich auf dem linearen positiven Kennlinienteil bis zum Punkt „P" erstreckt. Mit der Primärspule kann die Empfindlichkeit und mit der Sekundärspule die gewünschte Ausgangsspannung bei Vollausschlag eingestellt werden. Somit ergibt sich eine nahezu lineare Abhängigkeit zwischen der Dielektrizitätskonstantenänderung $\Delta\varepsilon$ und der sich einstellenden Ausgangsspannungsänderung ΔU.
Die Meßgrößenänderung kann analog, quasidigital und digital dargestellt werden. Im Bild 7 erfolgt die Darstellung mit einem 100-µA-Meßinstrument. Eine quasidigitale Darstellung kann durch eine Punktskale mit 12 LED unter Verwendung des IS 277 D realisiert werden.
Im Bild 5 wird die Feuchteänderung in digitaler Form unter Verwendung des IS C 520 D zur Anzeige gebracht. Die digitale



Bild 6. Digitaler HF-Granulat-Feuchtemesser

Bild 7. Analoger HF-Granulat-Feuchtemesser

Anzeige läßt sich mit dem peripher angeordneten Potentiometer R_{16} bei $\varepsilon_r = 1$ auf Null stellen, und entsprechend der vorgenommenen Kalibrierung stellen sich bei maximaler Feuchte 100 Skalenteile ein (Bild 6).

2.1. *Technische Parameter*

Meßverfahren:	Dielektrizitätsänderung bewirkt Frequenzänderung
Meßart:	zerstörungsfrei
Stromversorgung:	Batterie/Netzteil, 12 V $\pm$ 10% GS
Stromaufnahme:	130 mA; 10 mA bei Analoganzeige
Leistungsaufnahme:	1,5 W; 0,12 W bei Analoganzeige
Meßfrequenz:	10,7 MHz
Meßbechergröße:	400 cm^3
Anzeigeart:	Digitalanzeige 0 ... 100 Skalenteile
Betriebstemperatur:	20 °C $\pm$ 5 K
Masse:	1,8 kg
Breite:	125 mm
Länge:	240 mm
Höhe:	115 mm
Einsatzbereich:	Feuchtebestimmung in folgenden dielektrischen Schüttgütern: Baustoffe; Chemikalien; Getreide; Sägespäne; Spritzgranulate; Kohle usw.

3. Einflußgrößen bei dielektrischer Feuchtebestimmung

3.1. *Meßguttemperatur*

Nach der Feuchte hat die Temperatur den größten Einfluß auf die dielektrischen Eigenschaften hygroskopischer Stoffe. Der Temperaturkoeffizient der Dielektrizitätskonstanten für feste Stoffe ist für die Mehrzahl der Stoffe positiv und liegt in der Größenordnung 10^{-4} K^{-1} [2].
Die Temperaturabhängigkeit der relativen Dielektrizitätskonstanten kann durch folgende Funktion bis 10^7 Hz beschrieben werden:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t_0) \cdot [1 + \alpha_\varepsilon(t - t_0)]; \qquad (t_0 = 20\ °\mathrm{C}), \tag{8}$$

$$\alpha_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t}. \tag{9}$$

3.2. *Dichte des Meßgutes*

Bei der dielektrischen Feuchtemessung muß die Dichte des Meßgutes konstant gehalten oder eine dichteabhängige Korrektur des Meßergebnisses vorgenommen werden. Eine größere Stoffdichte führt zu einer Erhöhung der relativen Dielektrizitätskonstante, wobei bei Schüttgütern ab einer bestimmten Verdichtung keine weitere Änderung der dielektrischen Eigenschaften eintritt.

3.3. *Korngrößenverteilung*

Der Einfluß von Korngrößenverteilung von Schüttgütern auf das Meßergebnis ist am größten bei loser Schüttung ohne zusätzliche Verdichtung. Bei Frequenzen unter 10^8 Hz [2] wird die Heterogenität der Meßprobe besonders wirksam. Der Einfluß der Korngrößenverteilung sollte durch Fixierung der Größe der Einzelkörper der jeweiligen Meßgutart auf ein Minimum reduziert werden.
Bei Getreide kommt der Einfluß der Korngrößenverteilung bei einer reproduzierbaren Einbringung in den Meßkondensator kaum zur Geltung.

3.4. *Räumliche Feuchteverteilung*

Beim Vorhandensein von lokalen Feuchteunterschieden im Meßgut werden diese durch das dielektrische Feuchtemeßverfahren erkannt. Bei vorwiegender Oberflächenfeuchte erhält man zu hohe Werte für die mittlere Meßgutfeuchte.

3.5. *Chemische Zusammensetzung*

Der Einfluß der chemischen Zusammensetzung der Schüttgüter auf die Ergebnisse der dielektrischen Feuchtemessung ist durch die Veränderung der Dielektrizitätskonstanten gegeben. Bei Anwendung des dielektrischen Meßverfahrens auf pflanzliche Rohstoffe ist es äußerst schwierig, eine einheitliche Kennlinie für verschiedene Sorten, Anbaugebiete und Wachstumsbedingungen zu erhalten. Neben der chemischen Zusammensetzung machen sich die Form der Wasserbindung und die biologische Struktur bemerkbar. Zur Abschwächung der chemischen Eigenschaften sollten die benutzten Arbeitsfrequenzen wesentlich erhöht werden.

Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Meßverfahren und die danach entwickelten Meßgeräte zur Messung der Feuchtigkeit in dielektrischen Stoffen ist gekennzeichnet durch eine Frequenzänderung in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit des Meßgutes.

Literatur

[1] *Lechner, D.; Finck, P.:* Kurzwellensender. Berlin: Militärverlag 1979.
[2] *Berliner, M. A.:* Feuchtemessung. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[3] Information/Applikation Mikroelektronik, Heft 5: Integrierte AM/FM-ZF-Verstärker A 244D und A 281D. VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder 1980.
[4] *Frenz, H. P.:* Vorbereitung des HF-Feuchtemessers für digitale Anwendungsmöglichkeiten. Großer Beleg, Ingenieurhochschule Wismar, Sektion TdE/E, 1982.
[5] *Poppei, G.; Seifert, K. D.:* DK-Feuchtemesser für Baustoffe. Bauzeitung (1978) 3, S. 156–157.

msr 7858

J. Fischer; H.-H. Wilfert[1])

Kurzzeitbedarfsvorhersage in Elektroenergiesystemen

Für die Betriebsführung und die Planung von Elektroenergiesystemen interessiert der zukünftige Energiebedarf für einen Zeitraum von wenigen Minuten bis zu einigen Jahren im voraus. Beispielsweise wird eine Bedarfsvorhersage zur Planung des weiteren Ausbaues eines Energiesystems, zur Erstellung von Monats-, Wochen- und Tagesfahrplänen für die Erzeugung und Reservehaltung, aber auch zur operativen Steuerung eines Energiesystems benötigt. Entsprechend der jeweils erforderlichen Vorgriffszeit (lead time) läßt sich die Energiebedarfsvorhersage in die Kurzzeitbedarfsvorhersage (KZBV) mit einem Vorgriff von wenigen Minuten bis zu einer Stunde, in die mittelfristige Vorhersage mit einem Vorgriff im Stundenbereich und in die Langzeitbedarfsvorhersage einteilen. Obwohl hier das Schwergewicht auf der Darstellung der Verfahren zur Kurzzeitbedarfsvorhersage liegen soll, müssen, wie später aufgezeigt wird, die Verfahren der länger- und mittelfristigen Vorhersage, insbesondere die Verfahren zur Vorhersage der Tagesganglinie mit betrachtet werden.
Die überaus große Vielfalt in den Vorgehensweisen zur KZBV, (siehe Literaturverzeichnis bzw. [1] bis [4]) motiviert eine sprachliche Trennung zwischen Vorhersagetechniken und Vorhersageverfahren. Durch eine Vorhersagetechnik soll vor allem der algorithmische Kern einer Vorgehensweise erfaßt werden, wogegen ein Vorhersageverfahren durch die Verknüpfung verschiedener Grundtechniken und eventuell zusätzlicher heuristischer Gesichtspunkte entsteht. Die weiteren Ausführungen sind wie folgt gegliedert:
Der erste Abschnitt beinhaltet grundsätzliche Vorgehensweisen zur KZBV. Daran schließt sich die Darstellung der wichtigsten Vorhersagetechniken unter Berücksichtigung der Prozeßspezifik des Energiebedarfs an. Ausgehend von einer Einschätzung der Modellansätze und Verfahren zur KZBV werden im dritten Abschnitt Kriterien für die Auswahl geeigneter Vorhersageverfahren zur KZBV angegeben und begründet. Die verschiedenen Möglichkeiten zur Bewertung der Güte eines Vorhersageverfahrens zur KZBV zeigt der letzte Abschnitt auf.

1. Grundsätzliche Vorgehensweise zur KZBV

Die Änderung des Energiebedarfs (Wirklast) im Gesamt- bzw. einem Teilnetz des Elektroenergiesystems setzt sich aus der Vielzahl der Energiebedarfsänderungen der Einzelverbraucher zusammen, die beispielsweise durch den Tag- und Nachtrhythmus, die Arbeitszeitregelung, den Witterungsverlauf usw. bedingt sind. Der resultierende Verlauf des Elektroenergiebedarfs läßt sich als ein Prozeß interpretieren, der aus einer den mittleren Lastverlauf beschreibenden Grundkomponente und einer überlagerten vorwiegend stochastisch schwankenden Komponente besteht. Die Verfahren der mittel- und längerfristigen Vorhersage untersuchen im wesentlichen die Grundkomponente auf signifikante Trendanteile und Periodizitäten und den Grad ihrer Abhängigkeit von ausgewählten Einflußgrößen. Dagegen liegt das Schwergewicht der Verfahren zur KZBV auf der Untersuchung und Nutzung der inneren Korrelation der stochastischen Komponente. Da sich beide Prozeßkomponenten wesentlich in ihrem Charakter unterscheiden und zudem verschiedene Einflußgrößen, wie der Temperaturverlauf, kurzzeitig nicht wirksam werden, wird i. allg. eine Zerlegung der KZBV in zwei (eventuell auch mehrere) Teilschritte vorgenommen. Im Fall einer Aufspaltung des Energiebedarfs $X(t, d)$ zur Zeit t am Tag d in einem langperiodischen Anteil $X_1(t, d)$ und den stochastischen Anteil $X_2(t, d)$ wird die Vorhersage $\hat{X}(t + \Delta t, d)$ wie folgt erhalten:

1. Schritt: Ermittlung und Vorhersage der geglätteten Komponente $X_1(t, d)$ in größeren Zeitabständen $m \cdot \Delta t$.

2. Schritt: Ermittlung und Vorhersage des Differenzprozesses $X(t + \Delta t, d) - \hat{X}_1(t + \Delta t, d)$ im Zeitabstand Δt.

Dieses schrittweise Vorgehen ermöglicht es, die Vorhersagetechnik der jeweiligen Prozeßkomponente anzupassen. Das Vorgehen bringt im Hinblick auf die praktische Realisierung des Vorhersagealgorithmus den weiteren Vorteil, daß die Information über sich relativ langsam ändernde Einflußfaktoren explizit nur für die Vorhersage der Komponente $X_1(t, d)$, nicht aber für die Vorhersage des Differenzprozesses $X(t + \Delta t, d) - \hat{X}_1(t + \Delta t, d)$ benötigt wird. Andererseits hängen die Eigenschaften des Differenzprozesses auch von der Güte der notwendigerweise vorangestellten Vorhersage der Grundkomponente ab. Deshalb wird die letztendlich erzielte Genauigkeit der KZBV durch die Vorhersage in beiden Schritten bestimmt. Diese genannten Gesichtspunkte verlangen, daß neben den zur Prädiktion der stochastischen Komponente entwickelten Verfahren auch Verfahren der länger- und mittelfristigen Vorhersage in die Erörterung der Vorgehensweisen zur KZBV einzubeziehen sind.
Bei der Vorhersage des Energiebedarfs $X(t, d)$ kann sowohl die Prozeßentwicklung von Zeitpunkt zu Zeitpunkt, d. h. die Folge $\dots, X(t, d), X(t + \Delta t, d), X(t + 2 \cdot \Delta t, d), \dots$ als auch der Prozeßverlauf von Tag zu Tag zum selben Zeitpunkt, d. h. die Folge $\dots, X(t, d), X(t, d + 1), X(t, d + 2), \dots$ untersucht werden. Im ersten Fall erfolgt die Betrachtung des Energiebedarfs längs des Tages, im zweiten Fall quer zu den Tagen. Beide Ansätze zur Modellierung des Energiebedarfs können durch die Einführung eines Vektorprozesses $\boldsymbol{Y}(d)$, dessen Komponenten $Y_i(d)$ die Energiebedarfswerte am Tag d zu den Zeitpunkten t_i darstellen, in sich vereint werden.
Die Wahl der jeweils günstigeren Vorgehensweise wird durch die Größe der Autokorrelation des Prozesses $\boldsymbol{Y}(d)$ in den beiden Zeitrichtungen t und d und die speziell anzuwendende Vorhersagetechnik bestimmt. Die hauptsächlichsten Vorhersagetechniken sind im folgenden zusammengestellt.

2. Vorhersagetechniken

2.1. *Vorhersage durch Signalglättung*

Mittels eines geeignet gewählten Filters mit der Gewichtsfolge $(g_i)_{i=0,1,\dots}$ wird der vorherzusagende Prozeß $Y(k)$ in eine Grundkomponente $Y_1(k)$ und eine zufällige Abweichung $Y_2(k)$ gemäß (1)

$$\left.\begin{aligned} &Y_1(k) = \sum_{i=0}^{\infty} g_i Y(k-i) \quad \text{und} \quad Y_2(k) = Y(k) - Y_1(k) \\ &k \in T \quad \text{mit} \quad T = 0, 1, 2, \dots \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

zerlegt. Zudem wird angenommen, daß sich die Grundkomponente $Y_1(k)$ in einem kleinen Zeitintervall Δt nur gering ändert und die Korrelation der stark fluktierenden Komponente $Y_2(k)$ vernachlässigbar ist. Unter diesen Annahmen ergibt sich die Prozeßvorhersage $\hat{Y}(k + 1)$ durch Verschiebung des aktuellen Wertes der Grundkomponente in die Zukunft. Das heißt, es gilt

$$\hat{Y}(k+1) = Y_1(k) = \sum_{i=0}^{\infty} g_i Y(k-i) \qquad k \in T\,. \tag{2}$$

Im Hinblick auf den typischen Verlauf von Lastkurven, die beispielsweise durch einen starken Morgenanstieg gekennzeichnet sind, ist es vorteilhafter, zur KZBV nicht eine Glättung des Prozesses selbst, sondern eine Glättung der Prozeßzuwächse über die zuletzt gemessenen Werte vorzunehmen. Die mit dieser einfachen Vorhersagetechnik erreichbare Vorhersagegüte wird von der Gültigkeit der obigen Annahmen bestimmt.

2.2. *Vorhersage mittels eines Trendmodells*

Vorausgesetzt wird, daß der Prozeß $Y(k)$ sich aus einer Trendkomponente, charakterisiert durch die Zeitfunktion $f(k)$, und einer stochastischen Komponente $\varepsilon(k)$ additiv zusammensetzt. Zusätzlich sei eine parametrische Darstellung der Trendfunktion $f(k)$ durch ein Modell der Gestalt (3) gegeben.

$$f(k) = \sum_{i=1}^{r} a_i z_i(k) = \boldsymbol{a}^T \boldsymbol{z}(k) \qquad k \in T\,. \tag{3}$$

Besonders häufig zur Lastvorhersage verwendete Funktionen $z_i(k)$ sind die Potenzfunktionen k^i und die harmonischen Funk-

---

[1]) Dr. rer. nat. *Jürgen Fischer* (30) studierte von 1972 bis 1973 an der Bergakademie Freiberg und von 1974 bis 1976 an der TU Dresden Mathematik. Seit 1976 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Dresdener Institutsteil des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR. 1982 Promotion A auf dem Gebiet der Steuerung stochastischer Prozesse.

Dr. sc. techn. *Hans-Helmut Wilfert* (47) studierte von 1954 bis 1960 Elektrotechnik an der TH Dresden. Anschließend bis 1963 am Institut für Regelungstechnik der TH Dresden tätig. Seit 1963 am Dresdener Institutsteil des Zentralinstitutes für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, dort wissenschaftlicher Abteilungsleiter. 1967 Promotion A, 1971 Promotion B, jeweils an der TU Dresden.

tionen, sin $i \cdot \omega_0$ und cos $i\omega_0$, wobei ω_0 den Tages- oder Wochengang der Belastung repräsentiert. Die Minimierung des Vorhersagefehlers $\varepsilon(k)$ im Sinne der gewichteten kleinsten Quadrate führt auf die Lösung der sogenannten Normalgleichungen. Die dabei wiederholt auszuführende Matrixinversion entfällt, falls zusätzlich eine konstante Matrix $\boldsymbol{L}$ mit der Eigenschaft (4) existiert.

$$\boldsymbol{z}(k+1) = \boldsymbol{L}\boldsymbol{z}(k) \,. \tag{4}$$

Die nachfolgende Minimierung der gewichteten Fehlerquadratsumme

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{k=1}^{N} (\beta^k Y(N-k) - \boldsymbol{a}(N)^T \boldsymbol{z}(-k))^2 \\ \text{mit}\quad &\boldsymbol{a}(N) = (\boldsymbol{L}^N)^T \boldsymbol{a} \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

führt auf die Rekursionsvorschrift (6) [37]

$$\hat{\boldsymbol{a}}(N) = \boldsymbol{L}^T \hat{\boldsymbol{a}}(N-1) + \boldsymbol{h}\varepsilon(N) \tag{6}$$

mit dem Vorhersagefehler

$$\varepsilon(N) = Y(N) - \hat{\boldsymbol{a}}(N-1)^T \boldsymbol{z}(1) \tag{7}$$

und dem Vektor

$$\boldsymbol{h} = \{\sum_{k=0}^{\infty} \beta^k \boldsymbol{z}(-k)\, \boldsymbol{z}(-k)^T\}^{-1} \boldsymbol{z}(0) \,. \tag{8}$$

Im speziellen Fall des Modells (9)

$$Y(k) = a + \varepsilon_{\mathrm{k}} \tag{9}$$

entspricht die Rekursionsvorschrift (6) der einfachen exponentiellen Glättung gemäß (10).

$$\begin{aligned} \hat{\boldsymbol{a}}(N) &= \hat{\boldsymbol{a}}(N-1) + \alpha\varepsilon(N) \\ &= \hat{\boldsymbol{a}}(N-1) + (1-\beta)\,(Y(N) - \hat{a}(N-1)) \,. \end{aligned} \tag{10}$$

Die Einschwingdauer und die Nachführung des Modells (3) bei sich ändernden Prozeßeigenschaften hängen wesentlich vom Wichtungskoeffizienten β ab. Deshalb wird in Erweiterung dieser Vorgehensweise eine automatische Wahl des Koeffizienten β vorgenommen und die Möglichkeit eines zeitveränderlichen Koeffizienten $\beta(k)$ betrachtet (self adaptive forecasting [37]).

Die Verwendung eines Trendmodells liefert eine einfache und zumeist robuste Vorhersage. Im Fall relativ großer Vorgriffszeiten können jedoch unterschiedliche Trendmodelle, mit denen eine nahezu gleiche Anpassungsgüte erreicht wird, zu wesentlich verschiedenen Vorhersagewerten führen.

2.3. *Vorhersage über ein Regressionsmodell*

Bekannterweise wird der Energiebedarf durch verschiedene Faktoren, z. B. Wettergrößen, wie Temperatur, Windgeschwindigkeit und Helligkeit, beeinflußt. Eine Möglichkeit, solche funktionelle Abhängigkeiten zu beschreiben, bilden Regressionsmodelle. Im einfachen Fall einer linearen Abhängigkeit der Zielgröße $Y(k)$ von den Einflußgrößen $X_1, \dots, X_{\mathrm{m}}$ wird ein Modell der Gestalt (11) betrachtet.

$$Y(k) = a_1 X_1(k) + a_2 X_2(k) + \dots + a_{\mathrm{r}} X(k) + \varepsilon(k) \,, \quad k \in T \,. \tag{11}$$

Die Regressionskoeffizienten $a_1, a_2, \dots, a_{\mathrm{r}}$ werden auf der Grundlage einer Stichprobe von $N \times (r+1)$ Meßwerten $(y_1(k), x_1(k), \dots, x_{\mathrm{r}}(k); k = 1, N)$ im Sinne eines kleinsten mittleren quadratischen Gleichungsfehlers σ_ε^2 bestimmt. Unter der Voraussetzung, daß die Zufallsgrößen $\varepsilon(k)$ für verschiedene k stochastisch unabhängig und mittelwertfrei sind, wird aus den vorliegenden Meßwerten $(x_1(N+1), \dots, x_{\mathrm{r}}(N+1)$ der Vorhersagewert $\hat{y}(N+1)$ gemäß (12) erhalten:

$$\hat{y}(N+1) = \hat{a}_1 x_1(N+1) + \dots + \hat{a}_{\mathrm{r}} x_{\mathrm{r}}(N+1) \,. \tag{12}$$

Die Verwendung von Regressionsmodellen zur Prozeßvorhersage setzt in der Regel umfangreiche Voruntersuchungen für die geeignete Wahl der Einflußgrößen und der dazugehörigen oftmals nichtlinearen Regressionsfunktionen voraus. Die erreichbare Vorhersagegüte wird sowohl durch das speziell zugrundeliegende Modell als auch durch die Homogenität der Datenbasis bestimmt.

2.4. *Vorhersage mit Hilfe eines Zustandsraummodells*

Dieser Vorhersagetechnik liegt die Annahme zugrunde, daß sich der Energiebedarf bzw. ein trendbereinigter Anteil durch ein Zustandsraummodell der folgenden Gestalt beschreiben läßt:

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{X}(k+1) &= \boldsymbol{A}(k)\, \boldsymbol{X}(k) + \boldsymbol{W}(k) \,, \\ \boldsymbol{Y}(k) &= \boldsymbol{C}(k)\, \boldsymbol{X}(k) + \boldsymbol{V}(k) \,, \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

mit den voneinander stochastisch unabhängigen weißen Rauschprozessen $\boldsymbol{V}(k)$ und $\boldsymbol{W}(k)$.

Im einfachsten Fall (vgl. [6]) bilden der Energiebedarf $X(t, d)$ und sein Zuwachs $\Delta X(t, d)$ die Komponenten des zweidimensionalen Zustandsvektors. Andere Zustandsmodelle enthalten im erweiterten Zustandsvektor z. B. Spitzenlast, Temperatur und Feuchtigkeit.

Bei vorausgesetzter vollständiger Kenntnis der System- und Beobachtungsmatrix sowie der Kovarianz der Rauschprozesse $\boldsymbol{V}(k)$ und $\boldsymbol{W}(k)$ werden mittels Kalman-Filterung die optimale Zustandsschätzung und die optimale Vorhersage erhalten [36]. Da die geforderte Zustandsraumbeschreibung zumeist nicht vorliegt, wird eine vorherige bzw. gleichzeitige Bestimmung der unbekannten Parameter notwendig. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, unbekannte Parameter (zumindest die wichtigsten) als neue Zustandsgrößen einzuführen und für das erweiterte, i. allg. nichtlineare Zustandsmodell die Kalman-Filtertechnik anzuwenden. Um häufig auftretende Konvergenzschwierigkeiten auszuschalten, wird in [13] das Gesamtsystem mittels lokaler Linearisierung in zwei lineare Teilsysteme zerlegt und auf beide Systeme im Wechsel die Kalman-Filtertechnik angewendet.

2.5. *Vorhersage mit einem ARMA-Modell*

Falls für den stochastischen Prozeß $Y(k)$ ein deterministischer Trend und Instationarität ausgeschlossen werden, so existiert eine approximative Darstellung mit Hilfe eines autoregressiven Modells des gleitenden Mittels (ARMA-Modell) der Gestalt (14).

$$\begin{aligned} &Y(k) + \Phi_1 Y(k-1) + \dots + \Phi_{\mathrm{p}} Y(k-p) = \\ &= A(k) + \Theta_1 A(k-1) + \dots + \Theta_{\mathrm{q}} A(k-q); \\ &k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{aligned} \tag{14}$$

Hierbei bezeichnet $A(k)$ zeitdiskretes weißes Rauschen mit der Streuung σ_{A}^2, p die Ordnung des autoregressiven Teils und q die Ordnung des gleitenden Mittels. Nach der Bestimmung der Modellparameter $\Phi_1, \dots, \Phi_{\mathrm{p}}, \Theta_1, \dots, \Theta_{\mathrm{q}}, p, q$ entsprechend der „Box-Jenkins-Methode" [34] kann die Prozeßvorhersage $\hat{Y}(k+1)$ wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned} \hat{Y}(k+1) = &-\hat{\Phi}_1 Y(k) - \dots - \hat{\Phi}_{\mathrm{p}} Y(k-p) + \hat{\Theta}_1 \hat{A}(k) + \\ &+ \dots + \hat{\Theta}_{\mathrm{q}} A(k-q+1) \end{aligned} \tag{15}$$

mit

$$\hat{A}(k) = Y(k) - \hat{Y}(k) \,, \qquad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Die erhaltene Vorhersage ist für die betrachtete Prozeßklasse die bestmöglichste im Sinne eines kleinsten mittleren Fehlerquadrates.

Die Schwierigkeit in der Verwendung von ARMA-Modellen zur Bedarfsvorhersage besteht in der Absicherung der Stationaritätsforderung an den Prozeß $Y(k)$. Diese kann gegebenenfalls durch eine vorherige Trendeleminierung oder durch eine geeignete Vorfilterung, wie Bildung des Differenzprozesses $Y(k) - Y(k-1)$ (ARMA-Modelle) oder Hochpaßfilterung, erfüllt werden. Eine besonders einfache Schätzvorschrift ergibt sich für die Parameter eines rein autoregressiven Modells, das für den alleinigen Zweck einer Vorhersage zumeist ausreichend ist. Ein wesentlicher Vorteil der ARMA-Modelle besteht in der guten Interpretierbarkeit des Modells und der erhaltenen Ergebnisse. Die vorhandene Freiheit in der Wahl einer geeigneten Modellstruktur erlaubt eine gute Anpassung an das vorgegebene Datenmaterial, wobei jedoch eine gewisse Erfahrung bei der zielgerichteten Struktursuche für eine effektive Arbeitsweise benötigt wird.

Hinsichtlich zusätzlicher Details zu den diskutierten bzw. weiteren Vorhersagetechniken, die z. B. auf der Gram-Charlier-Entwicklung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion [23], auf Clusteranalysen [31], dem Zadeh-Ragazzini-Filter [33] und der Karhunen-Darstellung eines stochastischen Prozesses [5] basieren, muß auf die angegebene Literatur verwiesen werden.

3. Auswahlkriterien für Modellansätze und Verfahren zur KZBV

Grundsätzlich wird angenommen, daß die elektrische Last einen nichtstationären zufälligen Prozeß darstellt. Die Instationarität des Prozesses kann sowohl durch vorhandene deterministische Trendanteile, aber auch durch zeitveränderliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen zufälliger Komponenten hervorgerufen werden. Zur Behandlung der Instationarität kommen folgende Vorgehensweisen in Betracht:

Im einfachsten Fall werden instationäre Anteile, wie der Wochen- und Tagesgang und der Langzeittrend, aus dem Prozeß mittels Filterung abgespalten (vgl. Abschn. 2.1.) und auf die Restkom-

ponente, d. h. auf die Differenz zwischen Ausgangsprozeß und geglättetem Prozeß, eine speziell geeignete Vorhersagetechnik getrennt angewendet. Die Filterkoeffizienten werden aufgrund physikalischer Vorbetrachtungen (Wahl der Zeitkonstanten von Hochpaßfiltern) oder auf der Basis von Optimierungsalgorithmen (Bestimmung des Wichtungskoeffizienten bei der exponentiellen Glättung) festgelegt.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Instationarität durch Modelladaption zu erfassen. Das heißt, durch Parameternachstellung wird ein möglichst einfaches Modell den sich ändernden Prozeßeigenschaften angepaßt. Beispiele für diese Vorgehensweise sind Modellansätze mit zeitveränderlichen Trendfunktionen, aber auch die adaptive Kalman-Filterung und autoregressive Modelle mit zeitabhängigen Parametern bei instationären Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Infolge der ständigen Parameterneuwahl geht die Information über vergangene Parameterwerte mit wachsender Zeitspanne verloren. Somit ist im Fall erneut auftretender Standardsituationen ein Rückgriff auf die Parameterwerte in vergleichbaren, jedoch weiter zurückliegenden Zeiträumen unmittelbar nicht gegeben.

Eine dritte Vorgehensweise, die eine relativ hohe Genauigkeit erlaubt, beruht auf Modellen, durch die zum Vorhersagezeitpunkt eine Bezugnahme auf archivierte Meßwerte von Standardsituationen erfolgt. Im einfachen Fall regelmäßig wiederkehrender Belastungssituationen werden zyklische Trendfunktionen zur Prozeßbeschreibung verwendet. Im Fall unregelmäßig wiederkehrender Belastungssituationen wird zunächst die Vergleichbarkeit zwischen der Situation im Vorhersagezeitpunkt und in der Vergangenheit anhand der archivierten Datensätze bewertet. Im weiteren werden die Datensätze entsprechend ihren unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für die Festlegung der Vorhersagevorschrift und somit für die Bestimmung des Vorhersagewertes verwendet (gewichtete Regressionsanalyse, Mustererkennung).

In der angegebenen Reihenfolge der drei Gruppen nimmt der Umfang der von den Verfahren zum Vorhersagezeitpunkt explizit berücksichtigten Prozeßvergangenheit einschließlich zusätzlicher Informationsgrößen zu. Falls die Vorhersagewerte relativ häufig zu bestimmen sind, wie im Fall der KZBV, sind die erstgenannten Vorgehensweisen mit der größeren Datenverdichtung zweifelsohne vorteilhaft. Vorausgesetzt werden muß jedoch, daß der wesentliche Prozeßanteil bereits aufgrund der unmittelbaren Prozeßvergangenheit und der Modellgrößen vorhersagbar ist. Falls diese Voraussetzung verletzt ist, so empfiehlt sich wiederum eine stufenweise Vorhersage. Eine erste Vorhersage geschieht auf der Basis von relativ umfangreichem Datenmaterial in zeitlich größeren Abständen. In der sich anschließenden eigentlichen KZBV wird nur die resultierende Differenz zwischen den gemessenen Prozeßwerten und der bereits ermittelten Vorhersage betrachtet. Im günstigen Fall stellt die Restkomponente einen stationären Prozeß ohne nennenswerte tieffrequente Anteile dar. Dieser Gesichtspunkt bildet zugleich das wesentliche Kriterium für die Wahl der im ersten Schritt einzusetzenden Vorhersagetechnik. Zusätzlich müssen folgende Kriterien zur Beurteilung der Vorhersageverfahren berücksichtigt werden:

- Anpassungsfähigkeit des Modells bei sich ändernden Prozeßeigenschaften und Einflußgrößen
- Möglichkeiten zur Kontrolle der Übereinstimmung von Modell und Prozeß
- Überschaubarkeit des Verfahrens und Interpretierbarkeit der Ergebnisse
- numerische Robustheit der Algorithmen
- Aufwand bei der Implementierung des Verfahrens
- rechentechnischer Aufwand (Speicherplatz, Rechenzeit).

Entsprechend diesen Kriterien und der erreichten Vorhersagegüte werden die in [10] [13] [22] und [27] publizierten Verfahren zur Vorhersage der Grundkomponente als besonders beachtenswert eingeschätzt.

Weitere, besonders zur Vorhersage der stochastischen Restkomponente geeignete Verfahren beruhen auf der Verwendung von ARMA-Modellen und auf der Kalman-Filterung. Beide Vorgehen einschließlich ihrer Vor- und Nachteile wurden bereits in den Abschnitten 2.4. und 2.5. diskutiert. Aus der derzeitigen Sicht ist die Verwendung von ARMA-Modellen vorzuziehen, da in die Zeitreihenanalyse entsprechend *Box/Jenkins* die Modellbestimmung von vornherein eingeschlossen ist. Die Ordnungssuche und die Schätzung der Parameter des Zustandsraummodells, das für die Kalman-Filterung benötigt wird, erscheint in der praktischen Durchführung als schwierig. Falls jedoch die Struktur des Zustandsraummodells bekannt ist, so kann auf der Grundlage der Kalman-Filterung die Modelladaption und die Prozeßvorhersage auf effektive Weise erfolgen.

4. Zur Bewertung der Vorhersagegüte

Die Güte einer Vorhersage kann anhand der Wahrscheinlichkeitsverteilung bzw. ausgewählter Kenngrößen des Vorhersagefehlers $\varepsilon(k)$ mit

$$\varepsilon(k) = Y(k) - \hat{Y}(k); \qquad k \in T \tag{16}$$

beurteilt werden.

Die am häufigsten verwendete Gütegröße ist die empirische Standardabweichung $\hat{\sigma}_\varepsilon$ entsprechend

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=1}^{N} (\varepsilon(k) - \hat{m}_\varepsilon)^2} \quad \text{und} \quad \hat{m}_\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} \varepsilon(k)\,. \tag{17}$$

$\hat{\sigma}_\varepsilon$ wird in vielen Fällen auf den Mittelwert $\hat{m}_Y$ oder die Standardabweichung $\hat{\sigma}_Y$ normiert. Letzteres ermöglicht einen Vergleich zur Verwendung des Mittelwertes $\hat{m}_Y$ als Vorhersagewert. Ein solcher Vergleich ist nur aussagekräftig bei schwacher Autokorrelation des Prozesses über den Vorhersagezeitraum.

Bei normalerweise vorhandener stärkerer Autokorrelation des Prozesses über den Vorhersagezeitraum der KZBV ist der Vergleich zu der Verwendung des Augenblickswertes als Vorhersagewert aussagekräftiger und wird hier empfohlen. Mathematisch bedeutet dies eine Normierung auf die Standardabweichung $\hat{\sigma}_{\Delta y}$ des Zuwachses des Energiebedarfs. Für eine umfassendere statistische Beurteilung der Vorhersagegüte empfiehlt sich die Darstellung der empirischen Verteilung des Vorhersagefehlers in Form eines Histogramms [35]. Dabei interessiert beispielsweise die Symmetrie der Verteilung und die Klassenhäufigkeit großer Vorhersagefehler.

5. Zusammenfassende Einschätzungen

Im Fall der KZBV wird zweckmäßigerweise eine Aufspaltung des Energiebedarfs in eine Grundkomponente und eine überlagerte stochastische Komponente vorgenommen. Das Ein- oder Mehrschrittverfahren zur Vorhersage der Grundkomponente muß eine gute und automatische Anpassung bei sich ändernden Prozeßeigenschaften gestatten, insbesondere die Haupteinflußgrößen Arbeitszeitregelung und Tag- und Nachtrhythmus berücksichtigen. Die Möglichkeit einer expliziten Einbeziehung des Wettereinflusses in die Vorhersage sollte bestehen. Die Vorhersage der resultierenden Restkomponente, die den eigentlichen Kern der KZBV darstellt, erfolgt aufgrund ihres stark stochastischen Charakters vorwiegend mittels ARMA-Modellen oder mittels Kalman-Filterung. Bei Auftreten instationärer Wahrscheinlichkeitsverteilungen können verschiedene Modelle, z. B. Modelle für Werktage bzw. Sonn- und Feiertage, oder Modelle mit zeitabhängigen Parametern verwendet werden.

Grundsätzlich kann die Eignung eines Verfahrens zur KZBV nur anhand des konkreten Datenmaterials getestet werden, da die Prozeßeigenschaften stark von dem betrachteten System abhängen. So können sich für Teilsysteme mit unterschiedlichen Verbraucherstrukturen oder regional verschiedener Lage (stark temperaturabhängiger Bedarf) wesentlich verschiedene Vorhersagegüten bei gleichen Verfahren ergeben. Die letztendlich günstige Variante zur KZBV muß im Einzelfall jeweils erarbeitet werden.

Literatur

[1] *Sachdev, M. S.; Billinton, R.; Peterson, C. A.:* Representative bibliography on load forecasting. IEEE Trans. on PAS 96 (1977) 2, S. 697–700.
[2] Load Forecasting Working Group. Load forecast bibliography, Phase I. IEEE Trans. on PAS 99 (1980) 1, pp. 53–58.
[3] Load Forecasting Working Group. Load forecast bibliography, Phase II. IEEE Trans. on PAS 100 (1981) 7, pp. 3217–3220.
[4] *Abu-El-Mayd, M. A.; Shinha, N. K.:* Short-term load demand modelling and forecasting: A review. Hamilton Canada: Mc Master University, Interner Bericht Nr. SOC-262, 1982.
[5] *Farmer, E. O.; Potton, M. J.:* The prediction of load on a power system. Proc. of the 3rd Triennial World IFAC Congress 1966.
[6] *Toyoda, J.; Chen, M.; Inoue, Y.:* An application of state space estimation to short term load forecasting. Part I: Forecasting modeling. Part II: Implementation. IEEE Trans. on PAS 89 (1970) 7, pp. 1678–1688.
[7] *Gupta, P. C.:* A stochastic approach to peak power demand forecasting in electric utility systems. IEEE Trans. on PAS 90 (1971) 2, pp. 824–832.
[8] *Lijesen, D. P.; Rosing, J.:* Adaptive forecasting of hourly loads based on load measurements and weather information. IEEE Trans. on PAS 90 (1971) 4, pp. 1757–1767.
[9] *Cristiaanse, W. R.:* Short-term load forecasting using general exponential smoothing. IEEE Trans. on PAS 90 (1971) 2, pp. 900–908.
[10] *Gupta, C. P.; Yamada, K.:* Adaptive short term forecasting of hourly loads using weather information. IEEE Trans. on PAS 91 (1972) 6, pp. 2085 to 2094.
[11] *Sharma, K. L. S.; Mahalanabis, A. K.:* An application of nonlinear adaptive estimation theory in short-term load prediction. Anaheim/Californien: Proc. of the Energy Resources Conference 1974.
[12] *Srinivasan, K.:* Short term load forecasting using multiple correlation models. IEEE Trans. on PAS 94 (1975) 5, pp. 1854–1858.
[13] *Singh, G.; Biswas, K. K.; Mahalanabis, A. K.:* Load modelling for real time monitoring of power systems. IEEE Trans. on PAS 96 (1977) 6, pp. 1908–1914.

[14] *Hagan, M.; Klein, R.:* Identification techniques of Box and Jenkins applied to the problem of short term load forecasting. IEEE PES Summer Meeting, Nr. A 77-618-2, 1977.
[15] *Liang, J. C.; Strinzis, M. G.:* Power system load forecasting based on autoregressive moving average models. Oklahoma: Proc. of Control of Power Systems Conference and Exposition. Februar 1978.
[16] *Meslier, F.:* New advances in short load forecasting using Box and Jenkins approach. IEEE PES Winter Meeting, Nr. A 78-051-5, 1978.
[17] *El-Sayed, M. A.; Hassan:* Kurzfristige Prognose der elektrischen Leistung für den Betriebseinsatz in Kraftwerken. RWTH Aachen, Dissertation 1979.
[18] *Marchese, V.; Pozzi, S.:* Short term prediction of non-stationary load processes by Zadeh-Ragazzini Extension of the Wiener Theory. Proc. of 5th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, BRD 1979.
[19] *Röllinger, H.:* Untersuchungen der Auswirkung wichtiger Einflüsse auf die Genauigkeit der kurzfristigen Prognose der elektrischen Last. RWTH Aachen, Dissertation 1980.
[20] *Broehl, J. H.:* An end-use approach to demand forecasting. IEEE Trans. on PAS 100 (1981) 6, pp. 2714–2718.
[21] *Vemuri, S.; Huang, W. L.; Nelson, D. J.:* On-line algorithm for forecasting loads of an electric utility. IEEE Trans. on PAS 100 (1981) 8, pp. 3775 to 3784.
[22] *Abou-Hussien, M. S.; Kandil, M. S.; Tantawy, M. A.; Farghal, S. A.:* An accurate model for short-term load prediction. IEEE Trans. on PAS 100 (1981) 9, pp. 4158–4164.
[23] *Heydt, G.; Khotanzad, A.; Farahbakshian, N.:* A method for the probability density function of power system loads. IEEE Trans. on PAS 100 (1981) 12, pp. 5002–5010.
[24] *Nakumura, M.; Tahara, S.; Hatazaki, H.:* One-day-ahead load forecasting by Kalma-Filter using atmospheric temperature information. Proc. of the 8th Triennial World IFAC Congress, Japan 1981.
[25] *Abu-El-Magd, M. A.; Sinha, N. K.:* Modelling and forecasting short term load demand. A multivariate approach. Proc. of the 8th Triennial World IFAC Congress, Japan 1981.
[26] *Aam, S.; Skarstein, O.; Gagnat, L.:* Implementation of a load prediction program system for the Norwegian power pool. Proc. of the 8th Triennial World IFAC Congress, Japan 1981.
[27] *Herold, W.; Warko, V.:* FUTUR – ein Verfahren zur Vorhersage zeitabhängiger, periodischer Prozeßzustandsgrößen. IfE Leipzig, interner Forschungsbericht (1981).
[28] *Irisari, G. D.; Widergren, S. E.; Yehsakul, P. D.:* On-line load forecasting for energy control center application. IEEE Trans. on PAS 101 (1982) 1, S. 71–78.
[29] *Willis, H. L.; Northcote-Green, J. E. D.:* A hierarchical recursive method for substantially improving trending of small area load forecasts. IEEE Trans. on PAS 101 (1982) 6, S. 1776–1783.
[30] *Krogh, B.; Lesser, O.:* Design and implementation of an on-line load forecasting algorithm. IEEE Trans. on PAS 101 (1982) 9, S. 3284–3289.
[31] *Dehdasthi, A. S.; Tudor, J. R.; Smith, M. C.:* Forecasting of hourly load by pattern recognition. A deterministic approach. IEEE Trans. on PAS 101 (1982) 9, S. 3290–3294.
[32] *Anelli, R.; Genesio, R.; Vicino, A.:* Bivariate load-temperature modelling for short term forecasting. Proc. of the 2nd Intern. Symposium on Forecasting, Istanbul 1982.
[33] *Caprio, U. D.; Genesio, R.; Pozzi, S.; Vicino, A.:* Short term load forecasting in electric power systems: A comparison of ARMA-models and extended Wiener Filtering. Journal of Forecasting 1982.
[34] *Box, G. E. P.; Jenkins, G. M.:* Time series analysis, Forecasting and Control (in Russ.), Moskau: Verlag Mir 1974.
[35] *Müller, P. H. u. a.:* Lexikon der Stochastik. Berlin: Akademie-Verlag 1975.
[36] *Brammer, K.; Siffling, G.:* Kalman-Bucy-Filter. Deterministische Beobachtung und stochastische Filterung. München: R. Oldenbourg Verlag 1975.
[37] *Montgomery, D. C.; Johnson, L. A.:* Forecasting and time series analysis. New York: McGraw-Hill Book Company 1976.
[38] *Mohr, W.:* Univariate autoregressive moving-average. Prozesse und die Anwendung der Box-Jenkins Technik in der Zeitreihenanalyse. Würzburg: Physica-Verlag 1976.
[39] *Anderson, T. W.:* The statistical analysis of time series (in Russ.). Moskau: Verlag Mir 1976.
[40] *Makridakis, S.; Wheelwright, S. C.:* Interactive forecasting, univariate and multivariate methods. San Francisco: Holden Day 1978.
[41] *Chatfield, C.:* Analyse von Zeitreihen. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1982.

msr 7988

W. Ittner; K.-H. Kaatz [1])

Vorbereitung des Einsatzes einer Mikrorechner-Automatisierungsanlage für die Prozeßführung eines Großwasserwerkes

0. Einleitung

Vor der Volkswirtschaft der DDR steht gegenwärtig die Aufgabe der Intensivierung der materiellen Produktion durch komplexen Einsatz modernster Technologien, Aggregate und Automatisierungslösungen. In diesem Beitrag wird über die Einsatzvorbereitung einer Mikrorechner-Automatisierungsanlage in einem Großwasserwerk (tägliche Versorgungsleistung etwa 170000 m^3) berichtet. Angestrebt werden durch dieses Automatisierungsvorhaben ökonomische Effekte im Anwenderbetrieb und eine starke Ausstrahlung auf andere Betriebe dieses Wirtschaftszweiges.

Als langfristiges Automatisierungsziel ist die energieoptimale, verschleißarme, automatische Fahrweise des Wasserwerkes unumgänglich. Hierfür sind aber umfangreiche theoretische Vorleistungen erforderlich. Gegenstand des Beitrages ist die Realisierung der Prozeßüberwachung mit modernster Automatisierungstechnik in einer ersten Realisierungsetappe.

1. Technologischer Prozeß, Automatisierungsstrategie

Die Prozeßstufen der Wassergewinnung und -aufbereitung wurden bereits in [1] vorgestellt. Bild 1 gibt nochmals einen knappen Überblick.

Die Rohwasserförderung erfolgt aus einem natürlichen Grundwasserspeicher. Zur Absicherung der Versorgungsleistung von etwa 170000 m^3/d wird das natürliche Grundwasserangebot durch Infiltration von Oberflächenwasser erhöht. 60 Tiefbrunnen, angeordnet in mehreren Fassungen, fördern das Rohwasser. Danach schließen sich technologische Stufen zur Wasseraufbereitung (Filterung, Belüftung) an.

Im Reinwasserbehälter wird das Wasser zwischengespeichert. 3 Pumpwerke übernehmen dann die Förderung aus diesem Behälter und erzeugen den Leitungsdruck zur Einspeisung in das Trinkwasserversorgungsnetz.

Das perspektivische Automatisierungsziel läßt sich wie folgt formulieren: Energieoptimale, verschleißarme, automatische Fahrweise der Wasserwerksaggregate bei ständiger Gewährleistung der Versorgungssicherheit in Menge und Qualität.

Hierzu sind umfangreiche theoretische Vorleistungen notwendig, z. B. die Erarbeitung folgender Modelle:

- Prognosemodell (zur Vorausbestimmung des aktuell zu erwartenden Reinwasserbedarfes als Führungsgröße für das Wasserwerk [27])
- Prozeßmodell (zur Gewährleistung der optimalen Steuerung sämtlicher Teilprozesse entsprechend dem aktuellen zu erwartenden Reinwasserbedarf [3])
- Grundwasserbewirtschaftungsmodell (zur langfristigen Gewährleistung einer optimalen Vorratshaltung im Speicher [4]).

Darüber hinaus ist der Gedanke der optimalen automatischen Prozeßführung auf das gesamte Versorgungsgebiet auszudehnen,

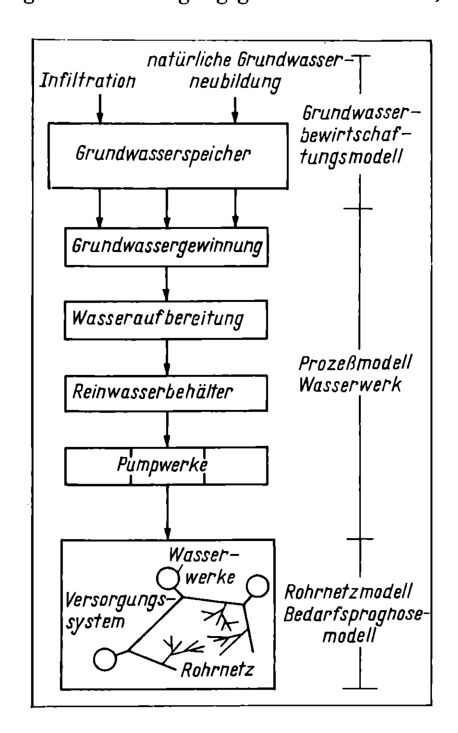


Bild 1. Schematische Darstellung des technologischen Prozesses

---

[1]) Dipl.-Ing. *Wolfgang Ittner* siehe S. 105 in msr 27 (1984) 3.
Dipl.-Ing. *Karl-Hans Kaatz* (37) studierte von 1965 bis 1968 an einer Ingenieurschule und von 1969 bis 1974 (im Fernstudium) an der Sektion Wasserwesen der TU Dresden Wasserwirtschaft. Seit 1970 im VEB Wasserversorgung und Abwasserbehandlung Magdeburg tätig und dort zur Zeit Leiter der Gruppe Automatisierung.

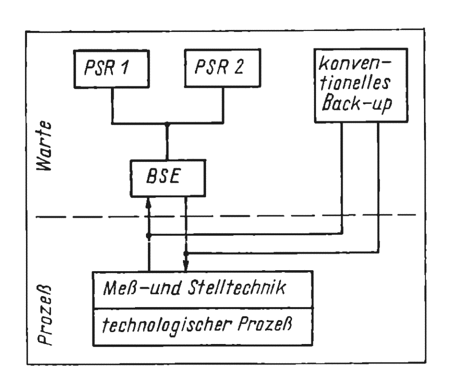


Bild 2. Struktur der Kleinverbundanlage

das aus weiteren einspeisenden Wasserwerken, Hochbehältern, Pumpstationen, dem eigentlichen Rohrleitungssystem und den lokalen Abnehmern besteht. Hierzu sind ebenfalls umfangreiche theoretische Untersuchungen erforderlich [5] und [6].
Aus dieser Situation heraus wird klar, daß das Automatisierungsvorhaben sinnvollerweise in Etappen realisiert werden muß. Die zu planende Gerätetechnik muß durch ihre Eigenschaften diesen Weg unterstützen, z. B. durch

- begrenzte Kapazitätsreserven für perspektivische Aufgaben (Überdimensionierung bezüglich Rechenzeit, Speicherplatz, Möglichkeit zur zusätzlichen Signalaufschaltung)
- Potentielle Kopplungsmöglichkeit an übergeordneten Leitrechner
- Möglichkeit zur Aufzeichnung (und Auswertung) von Meßwerten zur Unterstützung der Modellbildung.

2. Struktur der Kleinverbundanlage

Zur Verwirklichung dieses Vorhabens bot sich der Einsatz einer audatec-Kleinverbundanlage (KVA) an [7] [8] und [10]. Die gewählte Struktur ist im Bild 2 dargestellt. Es kommen zum Einsatz:

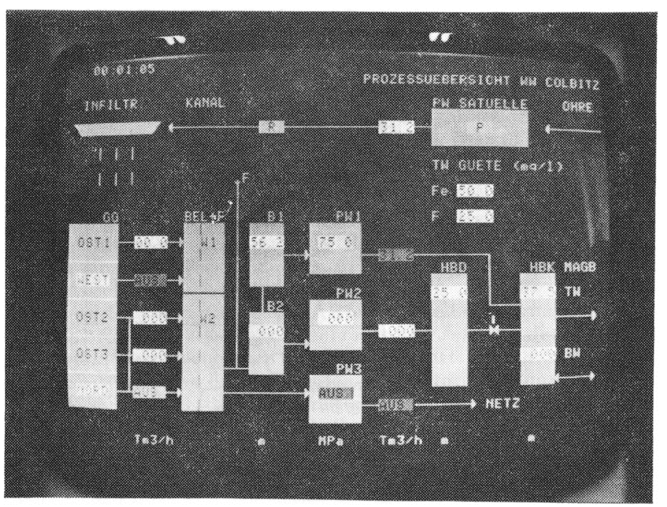
- 2 Pultsteuerrechner (PSR) zur Kommunikation Mensch — Maschine
- 1 Basiseinheit (BSE) zur Meßwerterfassung und -verarbeitung
- konventionelles back-up zur Übernahme wichtigster Anzeige- und Bedienfunktionen bei Ausfall der KVA.

Aufgrund des weitflächig verteilten Prozesses ist eine Unterbringung der BSE „vor Ort" zur Einsparung von Kabelkosten nicht möglich. Alle 3 Funktionseinheiten werden in der zentralen Warte angeordnet, da hierbei vorhandene Informationsübertragungswege genutzt werden können.

Tafel. Eingangs- und Ausgangssignale der BSE (Überblick)

Anzahl	Eingabe/Ausgabesignale	Meßgrößen/Stellgrößen
60	Analogeingabe 4 ... 20 mA, mit Potentialtrennung	Druck, Füllstand, Energieverbrauch, Durchfluß
80	Binäreingabe	Pegel-Grenzwerte Kontrolle Pumpenlauf, Störungsmeldungen
30	Binärausgabe	Pumpensteuerung, Schieberansteuerung

Bild 3. Technologisches Schema (Gesamtübersicht)



3. Funktionen der Kleinverbundanlage (1. Realisierungsetappe)

Nachfolgend werden die Einzelfunktionen zur Realisierung der Gesamtfunktion Prozeßüberwachung beschrieben [9].
BSE:

- Meßwerterfassung (siehe Tafel)
- Primärverarbeitung über Standard-Basismodule des Herstellers [8]
  (Mittelwertbildung, Sinnfälligkeits- und Grenzwerttest)
- Berechnung von Kenngrößen (z. B. Energieverbrauch in kWh/m³, Summenbildung)
- Ausgabe von Stellinformationen (siehe Tafel)

PSR1:

- Standardfunktionen des Herstellers zur Prozeßkommunikation:
  . Prozeßbedienung über Bedientastatur
  . Darstellung von Prozeßmeßwerten über Farbdisplay
- Standardfunktionen des Herstellers zur Systemkommunikation und Peripheriebedienung

PSR2:
Dieser Pultsteuerrechner wird mit dem notwendigen Teil des Standard-Betriebssystems ausgestattet und soll folgende anwenderspezifische Funktionen ermöglichen:

- Darstellung von technologischen Schemata auf Farbdisplay und Einblendung von aktuellen Prozeßmeßwerten
- stündliche Eintragung eines Kenngrößensatzes (z. B. absoluter Energieverbrauch, Energieverbrauch je m³, Pumpenlaufzeiten, Reinwasserabgabe in m³) in Tabellenbilder zur betrieblichen Abrechnung,
- Druck dieser Tabellenbilder nach 24 h als Tagesprotokoll
- Ausgabe der Kenngrößen auf Magnetbandkassette zur längerfristigen Abrechnung bzw. zur Erarbeitung des Prognosemodells.

4. Erarbeitung der objektspezifischen Fließbilder

Ausgehend vom Prozeß wurden Fließbilder entworfen, programmiert und auf einer Laboranlage realisiert [11] und [12]. Es wurden wertvolle Erfahrungen bezüglich der Umsetzung technologischer Schemata in aussagekräftige, übersichtliche, bildschirmgerechte Strukturen gewonnen.
Bild 3 zeigt die Gesamtdarstellung des Prozesses mit wenigen repräsentativen Informationen. Detailinformationen sind über mehrere Darstellungen von Teilprozessen abrufbar.
Nach abschließender Diskussion mit dem zukünftigen Betreiber wird die Implementierung der Fließbilder ausdrücklich gefordert und gegenwärtig mit dem Hersteller der Automatisierungsanlage abgestimmt. Perspektivisch ist zu untersuchen, ob für vergleichbare wasserwirtschaftliche Prozesse die alleinige Prozeßkommunikation über Fließbilder möglich ist.

Zusammenfassung

Berichtet wird über ein Automatisierungsvorhaben in einem Großwasserwerk, bei dem eine audatec-Kleinverbundanlage des VEB GRW Teltow eingesetzt wird. Ziel des ersten Realisierungsabschnittes ist die komplexe Prozeßüberwachung. Vorgestellt werden projektspezifische technologische Schemata zur Darstellung von Prozeßmeßwerten über Farbdisplay. Eine Funktionserweiterung der Automatisierungsanlage durch Implementierung neuer Programme ist vorgesehen, so daß perspektivisch die energieoptimale automatische Steuerung des Wasserwerkes realisiert ist. Theoretische Voraussetzungen dafür werden zur Zeit erarbeitet (Prozeßmodell, Prognosemodell).

Literatur

[1] *Wernecke, R.; Kaatz, K.-H.:* Die Automatisierung und Prozeßführung — dargestellt am Wasserwerk Colbitz. WWT 10 (1982) 10, S. 352—356.
[2] *Nestler, W.; Luckner, L.; Hummel, J.:* Die Nutzung von Signalmodellen zur Wasserbedarfsprognose als Basis einer effektiven Steuerung der Wasserversorgungsprozesse. WWT 10 (1982) 12, S. 414—418.
[3] *Böhlke, H.:* Prozeßmodell Wasserwerk Colbitz. Belegarbeit, TH Magdeburg 1983.
[4] *Tiemer, K.; Weber, E.; Kaatz, K.-H.:* Einführung des Grundwasserbewirtschaftsmodells. WWT 10 (1982) 9, S. 298—300.
[5] *Mailänder, F.:* Optimale Steuerung der Wasserverteilung in Verbundsystemen. GWF 122 (1981) 7, S. 291—297.
[6] *Bornitz, D.:* Hydraulische Modellierung des Versorgungsgebietes Magdeburg. Unveröffentlichtes Material, Institut für Wasserwirtschaft Berlin 1983.
[7] *Müller, G.; Hesse, R.: Schönemann, R.:* Kleinverbundanlage des Systems audatec am Beispiel der Automatisierung einer Luftzerlegungsanlage. Wiss.-techn. Inf. des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau 18 (1982) 2, S. 67—74.
[8] *Neumann, P.:* Mikrorechner in Automatisierungsanlagen. Band 202 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.

(Fortsetzung auf S. 274)

F.-H. Lange[1])

Zur Weiterentwicklung der Korrelationsanalyse Teil III: Cepstrum-Methode[2])

1. Methodische Grundlagen

In den beiden ersten Teilen des Beitrages wurden Varianten der Kalman-Filterung als Weiterentwicklung der Korrelationsanalyse betrachtet. Eine weitere Methode der Meßstochastik hat zunehmend an Bedeutung gewonnen. Es handelt sich um die *Cepstrum-Methode*, die in enger Beziehung zur Korrelationsanalyse steht. Sie wurde 1963 von *Bogert*, *Healy* und *Tukey* angegeben [2]. *Schwarzlander* berichtete 1973 darüber auf einer NTG-Tagung über „Signalverarbeitung" [8]. Neue Anregungen ergaben sich aus [1] [7] [10] [11] und [12] mit Anwendungen zur Objekterkennung in der Hydroakustik. Nachfolgend sollen die typischen Eigenschaften dieser Methode zur Signalverarbeitung als Beitrag zur Lehre beleuchtet werden, insbesondere um sie gegen andere Verfahren abzugrenzen.

Während die Kalman-Filterung weitgehend auf die spektrale Darstellung verzichtet (entsprechend der regelungstheoretischen Zustandsbetrachtung nach *Zadeh* u. a.), macht die Cepstrum-Methode von der spektralen Darstellung Gebrauch und ist mit dieser Darstellungsform eng verknüpft.

Mathematisch betrachtet ist nach Bild 1 die Cepstrumfunktion $c(t)$ als die Fourier-Rücktransformierte des logarithmierten und normierten Leistungsspektrum $S(\omega)/S_0$ bzw. des Energiespektrums definiert. Zwischen diesen beiden Spektren besteht innerhalb eines zweiseitig begrenzten Zeitbereiches nur ein Unterschied in Form einer Konstanten!

Es gilt also für das Leistungsdichte-Cepstrum:

$$c_L(\tau) = F_{-1}\{\ln (S(\omega)/S_0)\}$$

mit $S(\omega)$ als spektraler Leistungsdichte,
und es gilt für das Energiedichte-Cepstrum:

$$c_E(\tau) = F_{-1}\left\{\ln \frac{|A(\omega)|^2}{A_0}\right\}$$

mit $A(\omega)$ als Amplitudendichtespektrum.
τ stellt eine Laufzeitdifferenz (quefrency) dar. Hingegen gilt für die Autokorrelationsfunktion:

$$K(\tau) \quad \text{oder} \quad \psi(\tau) = F_{-1}\{S(\omega)\} \quad \text{oder} \quad F_{-1}\{S(f)\} .$$

Beide Funktionen sind also Fourier-Rücktransformierte und Funktionen im Zeitbereich. Die AKF läßt sich auch unmittelbar aus der zugehörigen Zeitfunktion des betrachteten Prozesses berechnen:

$$K(\tau) \quad \text{oder} \quad \psi(\tau) = \overline{s(t)\, s(t-\tau)} = = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} s(t)\, s(t-\tau)\, dt .$$

Eine ähnliche Beziehung besteht aber zwischen einem Prozeß $s(t)$ und seiner Cepstrum-Kennfunktion **nicht**. Die Berechnung von $c(t)$ ist nur über den Spektralbereich, d. h. über das Leistungsspektrum möglich.

Durch die Ableitung aus dem Leistungsspektrum geht genau so wie bei der Korrelationsanalyse die Phaseninformation eines Meßprozesses verloren. Daher ist die Cepstrum-Funktion ebenso wie die AKF als statistische Kenngröße von Schmalbandprozessen mit Phasenschwankungen geeignet, da diese ohne Einfluß sind.

2. Anwendung auf lineare Systeme

Die Korrelationsanalyse stellt mit dem Wiener-Filter (vgl. Teil I) die Verbindung zur Theorie der linearen Netzwerke her. Für diese gilt der Faltungssatz. Er gilt auch für die Cepstrum-Analyse.

Die Fourier-Transformation formt ein Faltungsprodukt in ein algebraisches Produkt um, das sich für Analyse- und Syntheseaufgaben leichter handhaben läßt. Sie ergibt zunächst das Amplitudenspektrum, das für statistische Prozesse in das Leistungs-

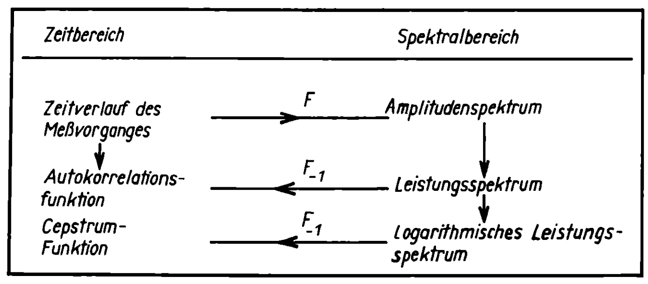


Bild 1. Schema der Signalverarbeitung mit Hilfe der Fourier-Transformation in der Korrelations- und in der Cepstrum-Analyse

Spektrum umgeformt wird. Dieser Sachverhalt sei für ein zunächst beliebiges Testsignal $e(t)$ mit dem Amplitudenspektrum $E(\omega)$ in seiner Einwirkung auf ein lineares System mit der Gewichtfunktion, auch als Stoßreaktion bezeichnet, $g(t)$ und der Fourier-Transformierten $G(\omega) = F\{g(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \exp(-j\omega t)\, dt$!

Dann ergibt sich als Ausgangssignal eine Systemreaktion von:

$$a(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e(t')\, g(t-t')\, dt' = e(t) * g(t)$$

in der üblichen Schreibweise als Faltungsprodukt. Stoßbeginn hier: $t = 0$.

Im Spektralbereich lautet die Beziehung:

$$A(\omega) = E(\omega) \cdot G(\omega) .$$

Für das Energiespektrum gilt dann weiter:

$$|A(\omega)|^2 = |E(\omega)|^2\, |G(\omega)|^2 .$$

Das Leistungsspektrum ist definiert als:

$$S_a(\omega) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} |A_T(\omega)|^2 ,$$

mit der Kurzzeit-Amplitudendichte

$$A_T(\omega) = \int_{-T}^{+T} a(t)\, e^{-j\omega t}\, dt .$$

Das Leistungsspektrum eines Ausgangssignals eines linearen Systems beträgt dann:

$$S_a(\omega) = S_e(\omega) \cdot |G(\omega)|^2 .$$

An diesem Punkt trennen sich die Wege der beiden Methoden. In der Korrelationsanalyse erfolgt eine unmittelbare Rücktransformation in den Zeitbereich, die die Korrelationsfunktion ergibt:

$$K(\tau) = F_{-1}\{S(\omega)\} .$$

Bei der Cepstrum-Methode erfolgt vor der Rücktransformation in den Zeitbereich eine Logarithmierung des Leistungsspektrums. Auch dies ergibt Zeitfunktionen, die Cepstrum-Funktionen $c(\tau)$. Man bezeichnet die Abszisse mit τ wie bei der Korrelationsfunktion, weil ihre Werte, wie noch gezeigt wird, Zeitdifferenzen darstellen. Die bisher einzige bekannte Anwendung, der Mehrfach-Empfang von Signalen (multipath interference) benutzt diesen Effekt. Hier wird die Anwendung in der Hydroakustik vorgestellt.

3. Anwendung auf die Sedimentortung

Die Cepstrum-Analyse dient vorzugsweise für die Bestimmung von kleinen Laufzeitdifferenzen, speziell zur Trennung eines Hauptechos von Nebenechos.

Die Meeresforschungstechnik untersucht die Struktur des Meeresbodens, z. B. zum Auffinden von Kies-Sedimentschichten zur Kiesgewinnung für die Bauindustrie, um eine für die DDR typische Anwendung zu nennen. Es wird hier nach neuen Methoden gesucht, um die Feinstruktur des Meeresbodens zu erkunden. Hierfür wird durchaus mit Erfolg die Korrelationsmeßtechnik z. B. als Deltic-Korrelator benutzt, wie es u. a. *Barnick* und *Wendt* in [9] gezeigt haben. Die Cepstrum-Methode stellt eine Variante dar, die erst durch Einsatz der Mikrorechentechnik mit

---

[1]) Prof. (em.) Dr. sc. techn. Dr.-Ing. E. h. *Franz-Heinrich Lange* (74) studierte von 1928 bis 1932 Technische Physik, war von 1932 bis 1958 in der nachrichtentechnischen Industrie tätig. 1935 Promotion zum Dr.-Ing. Von 1958 bis 1975 Professor an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock. 1959 Habilitation, 1965 Promotion B zum Dr. sc. techn. Seit 1975 emeritiert.

[2]) Teil I erschien in msr, Berlin 26 (1983) 11, S. 626 bis 630, Teil II in msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 693 bis 696 und S. 706.

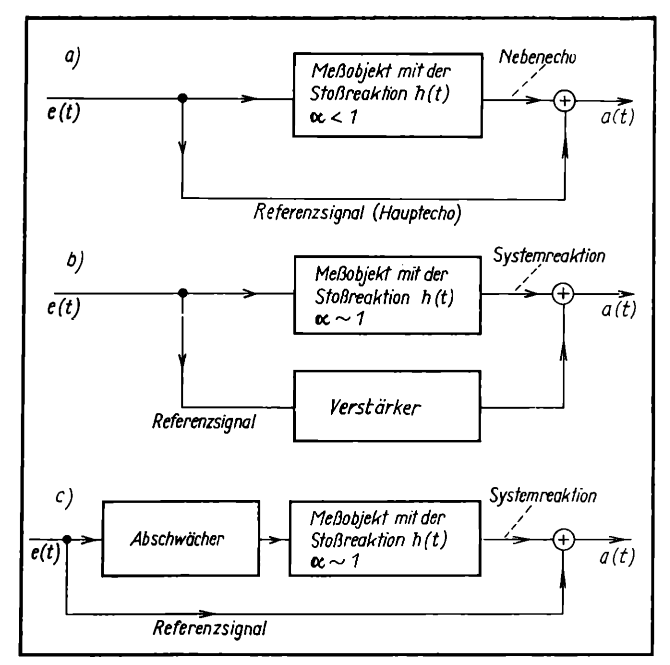


Bild 2. Schaltungen zur Cepstrum-Analyse

a) Modell der Sedimentortung; b) Anordnung zur Analyse der Stoßreaktion mit Verstärkung des Referenzsignals; c) Anordnung zur Analyse der Stoßreaktion mit Abschwächung des Nebenechos

Erfolg realisiert werden konnte. Dabei ergab sich u. a. als Nebenergebnis schon im Jahre 1965 die sogenannte schnelle Fourier-Transformation [3].

Als idealisiertes Modell sei ein Laufzeitsystem mit der Stoßreaktion $g(t) = \alpha\delta(t - T_0)$ betrachtet. Es gibt einen Stoßimpuls abgeschwächt um den Faktor α mit der Zeitverzögerung T_0 gegenüber einem eintreffenden Testsignal wieder. Man beachte, daß es sich bei der Stoßreaktion um einen Einschaltvorgang handelt, der vor dem Reaktionszeitpunkt $t = T_0$ gleich Null ist. T_0 ist z. B. die Zeitdifferenz des Eintreffens des Hauptechos des Meeresbodens von dem nachfolgenden Nebenecho der Sedimentschicht.

Bild 2 stellt derartige Modellschaltungen dar. Hier gelte zunächst Bild 2a.

Laufzeitdifferenzen werden durch die Fourier-Transformation im Bildbereich mit Hilfe des Verzögerungsfaktors $\exp(-j\omega T_0)$ dargestellt.

Daher gilt bei einem derartigen kombinierten Echosignal für das Amplitudenspektrum:

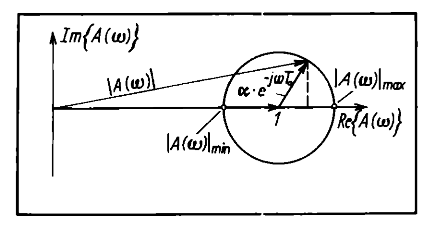
$$A(\omega) = E(\omega)\,\{1 + \alpha \exp(-j\omega T_0)\}\ .$$

Dies wird in normierter Form für $E(\omega) = 1$ im Bild 3 dargestellt. $A(\omega)$ ist komplex und besitzt neben dem Realteil $\mathrm{Re}\,\{A(\omega)\}$ bei kleinen Werten von α einen gegenüber dem Realteil kleinen Imaginärteil $\mathrm{Im}\,\{A(\omega)\}$.

$A(\omega)$ durchläuft als Zeigergröße im Diagramm einen Kreis um den Punkt 1 mit dem Radius α. Näherungsweise kann man $|A(\omega)|$ durch $\mathrm{Re}\,\{A(\omega)\}$ ersetzen. Dann schwankt $|A(\omega)|$ zwischen dem Maximalwert $1 + \alpha$ und dem Minimalwert $1 - \alpha$ in Abhängigkeit von ω als Variable des Spektralbereiches periodisch. Dies bedeutet, daß als Auswirkung der Überlagerung von Haupt- und Nebenecho um die Zeitdifferenz T_0 im **Spektralbereich** (nicht im Zeitbereich!) **eine Periodizität auftritt.** Dies bedeutet ferner, daß bei kleinem Faktor α die reelle Komponente $\mathrm{Re}\,\{A(\omega)\}$ ebenso wie der Zeiger $A(\omega)$ durch die Echoinformation α und T_0 moduliert wird. Sie bleibt nachfolgend dadurch voll erhalten!

Bild 3. Zeigerdiagramm des Amplitudenspektrums $A(\omega)$ eines von einem Echo überlagerten Testsignal in normierter Darstellung zur Erklärung der Periodizität im Spektralbereich

(normiert auf das Eingangssignal $E(\omega) = 1$)



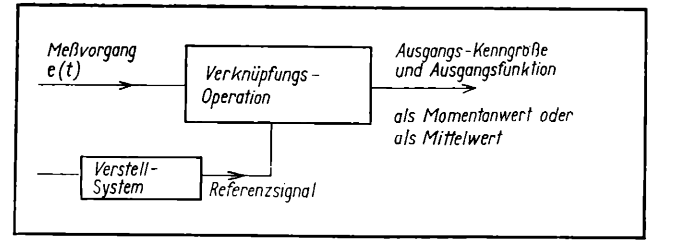


Bild 4. Schema eines Verbundsystems zur Modellierung einer Signalverarbeitungs-Methode

Rechnerisch ergibt sich in diesem Fall für das Leistungsspektrum des Ausgangssignals

$$S_a(\omega) = S_e(\omega) \cdot |1 + \exp(-j\omega T_0)|^2\ .$$

Für $\alpha < 1$ und $\alpha^2 \approx 0$ ergibt dies

$$S_a(\omega) = S_e(\omega) \cdot (1 + 2\alpha \cos \omega T_0)\ .$$

Im Leistungsspektrum sind demnach stets zwei Parameter enthalten, die Laufzeitdifferenz T_0 und der Schwächungsfaktor α. Dies gilt stets und ist ein Ergebnis der Modellanalyse, hat aber noch nichts mit der Cepstrum-Methode zu tun. Jedoch bildet dieser Tatbestand den Ausgangspunkt der neuen Methode. Die Aufgabenstellung der Laufzeitbestimmung ist bei der Korrelationsmeßtechnik an eine Synchronisation von Referenzsignal (Bild 4) und Meßsignal gebunden. Dies soll nach Möglichkeit nun vermieden werden. Außerdem interessiert der Schwächungsfaktor α für die Objektidentifizierung.

Zu diesem Zwecke erfolgt bei der Cepstrum-Methode eine Logarithmierung des Leistungsspektrums.

Es ergibt sich nach Normierung des Leistungsspektrums:

$$\ln\,(S_a(\omega)/S_0) = \ln\,(S_e(\omega)/S_0) + 2\alpha \cos \omega T_0\ .$$

Dadurch treten anstelle der Faktoren des Leistungsspektrums additive Komponenten auf. Hierbei wurde die Beziehung benutzt:

$$\ln\,(1 + y) = y \quad \text{für hinreichend kleine Werte von } y\ .$$

Wie bei der Korrelationsanalyse erfolgt nun eine Rücktransformation in den Zeitbereich und ergibt die schon oben eingeführte Cepstrum-Funktion $c(\tau)$. Bild 1 zeigt das gesamte Schema der Signalumwandlung als Überblick.

Die Rückumwandlung in die Zeitbereichfunktion $c(\tau)$ hat eine Reihe von Vorteilen:

Erstens wird der Meßprozeß im Zeitbereich anstelle eines Faltungsproduktes durch eine **Summe** zweier Komponenten dargestellt. Dies erleichtert die Signalselektion. Der eine Summand enthält eine Leistungsinformation:

$$F_{-1}\{\ln\,(S_e(\omega)/S_0)\}\ .$$

Das Argument des Logarithmus muß dimensionslos sein, daher muß man die spektrale Leistungsdichte auf einen Normalwert S_0 beziehen! Der zweite Summand von $c(\tau)$ enthält die gewünschte Information über die Signalabschwächung α und über die Laufzeitdifferenz T_0:

$$F_{-1}\{2\alpha \cos\,(\omega T_0)\}\ .$$

Diese Rücktransformation ergibt im Zeitbereich $\tau > 0$ einen Diracstoß, der mit α bewertet wird. Er liegt im Cepstrum-Bereich bei $\tau = T_0$. Dies gilt allerdings nur im Idealfall bei einer unendlich ausgedehnten Periodizität des Spektrums (s. o.). Eine zweiseitig begrenzte Periodizität ergibt nach Rücktransforma-

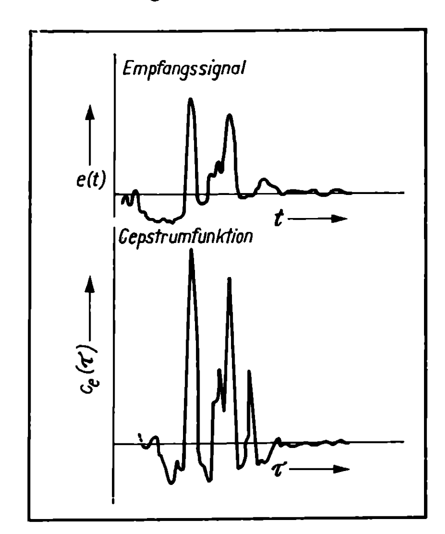


Bild 5. Oszillogramme der Zeitfunktion und der Cepstrumfunktion nach [1] als Bodenecho in der Ostsee

tion statt dessen eine Spaltfunktion im Zeitbereich. Die Wechselbeziehungen sind hier prinzipiell die gleichen wie beim Normalfall der Signaltheorie, nur liegt dort die Periodizität im Zeitbereich als harmonische, zeitbegrenzte Schwingung und im Spektralbereich als eine spektrale Abbildung in Form einer Spaltfunktion vor.

Bild 5 aus [1] zeigt ein mehrfaches Echosignal im Zeitbereich t als Oszillogramm und darunter die zugehörige Cepstrum-Funktion $c(\tau)$.

In [2] wurden originelle neue Bezeichnungen eingeführt, wie Cepstrum als Anagramm für Spektrum, inzwischen allgemein übernommen, oder „Quefrency" statt Zeitdifferenz für die Impulsabszisse von $c(\tau)$, aber auch andere überflüssige und nur verwirrende Begriffe für die Kenngrößen der Cepstrum-Analyse.

Kennzeichnend für die Cepstrum-Methode ist es, daß überhaupt keine Synchronisation des Referenzsignals (= Hauptimpulsecho) mit dem Meßprozeß (= Nebenecho) vorgenommen werden muß. Vielmehr wird nach Aufzeichnung und Digitalisierung des Meßprozesses alles weitere nur berechnet. Dies ist übrigens auch bei der Korrelationsanalyse üblich geworden, indem die Zeitverschiebung mit dem Rechner vorgenommen wird. Für einfache Meßanordnungen ohne großen Rechenaufwand hat die unmittelbare Synchronisationsmöglichkeit der Korrelationsmeßtechnik auch Vorteile, wie die Verfahrenspraxis beweist.

In den derzeit vorliegenden Lehrbüchern und Monographien der Signaltheorie wird die Cepstrum-Methode nur knapp oder auch nicht erwähnt. Die mathematischen Modelle wurden bisher nur unzureichend untersucht, so daß sich damit ein Forschungsgegenstand (z. B. für Doktoranden) eröffnet. Dies gilt u. a. für den Zusammenhang von Autokorrelationsfunktion und Cepstrum-Funktion, deren Fourier-Transformierte laut Definition durch den Logarithmus miteinander verknüpft sind. Ferner stößt man auf die Schwierigkeit, daß bei verschwindendem Leistungsspektrum der zugehörige Logarithmus gleich $-\infty$ wird. Ein zweiseitig zeitbegrenztes Signal hat zwar ein unendlich ausgedehntes Spektrum, aber de facto findet im Übertragungskanal stets eine starke Bandbegrenzung statt. Der Kunstgriff, dem Leistungsspektrum den Wert Eins hinzuzufügen, führt zwar zu dem erwünschten Ergebnis, daß die Cepstrum-Funktion bei $S(\omega) = 0$ gleich Null wird. Doch ergibt sich hier eine verfälschte Cepstrumfunktion, da im Computer das Empfangssignal eingegeben wird, das auch das Echo enthält. Es ist also aus dem Bildbereich die Spektralfunktion:

$$\ln (S_a(\omega)/S_0) = \ln \{S_e(\omega)/S_0(1 + 2\alpha \cos \omega T_0) + 1\}$$

in den Zeitbereich durch Fourier-Rücktransformation zu überführen. Dieser Ausdruck lautet:

$$\ln (S_a(\omega)/S_0) = \ln \left\{\frac{S_e(\omega)}{S_0}\left(1 + \frac{1}{1 + 2\alpha \cos \omega T_0}\right) \times \times (1 + 2\alpha \cos \omega T_0)\right\} = = \underbrace{\ln \left\{\frac{S_e(\omega)}{S_0} + \frac{1}{1 + 2\alpha \cos \omega T_0}\right\}}_{\text{vom Echo ebenfalls abhängige additive Komponente}} + \underbrace{2\alpha \cos \omega T_0}_{\text{spektrale Periodizität}} .$$

Es fehlen zur Zeit noch Untersuchungen, welche Genauigkeitsanforderungen an die Cepstrum-Analyse gestellt werden können. Jedoch wurde die Störfestigkeit, d. h. das Verhalten bei überlagertem additivem Rauschen, in [1] bereits untersucht und mit der Korrelationsanalyse verglichen.

4. Anwendung auf die Ermittlung der Gewichtsfunktion eines linearen Systems

Die Cepstrum-Methode eignet sich außer für die Sedimentortung auch für andere Aufgaben der Objektidentifizierung. So wurde von *Moltmann* [7] und *Zecha* [10] untersucht, wie man generell die Gewichtsfunktion (= Stoßreaktion) eines linearen Systems mit Hilfe der Cepstrum-Analyse ermitteln kann. Der Grundgedanke besteht darin, daß man die oben als $g(t)$ bezeichnete Funktion durch Rückfaltung der Systemreaktion $a(t) = e(t) * g(t)$ aus der Kenntnis des Testsignals $e(t)$ und der Systemreaktion $a(t)$ ermitteln kann.

Hierbei soll die Systemreaktion digitalisiert werden, was durch eine periodische Abtastung der Amplitudenwerte leicht möglich ist. Dann besteht die Systemreaktion aus einer Folge von Impulsen, die zwecks Anwendung der Cepstrum-Analyse als eine Folge von Echoimpulsen aufgefaßt werden kann. Hierbei muß das Hauptecho des Meeresbodens der Sedimentortung durch ein Referenzsignal ersetzt werden. Es stellt den auf das lineare System auftreffenden Testimpuls dar. Aber es besteht gegenüber der Sedimentortung ein wichtiger Unterschied: die Nebenbedingung $\alpha < 1$ ist nicht erfüllt, denn es handelt sich doch um ein beliebiges lineares System, ein unbekanntes Meßobjekt im Fall der Hydroakustik (z. B. Wrack).

Trotzdem kann die Nebenbedingung $\alpha < 1$ leicht erfüllt werden, wenn eine Schaltung nach Bild 2 b oder c benutzt wird.

Entweder wird das Referenzsignal verstärkt oder das Eingangssignal des Systems abgeschwächt, sofern nicht die Reaktion des Laufzeitsystems auf das Testsignal $e(t)$ durch die Streckendämpfung o. a. entsprechend stark abgeschwächt wird, so daß die Bedingung $\alpha \ll 1$ von selbst erfüllt ist. Dann und nur dann kann die Cepstrum-Methode angewendet werden.

Hierzu geht man folgendermaßen vor:

Man denkt sich die noch unbekannte Stoßreaktion digitalisiert, so daß sie aus einer Folge von Impulsen besteht, deren Hüllkurve die Stoßreaktion darstellt. Damit gilt es nur, diese Impulsfolge mittels der Cepstrum-Analyse genau so zu bestimmen, wie oben die Bestimmung eines einzelnen Echoimpulses durchgeführt wurde. Um die Nebenbedingung $\alpha < 1$ zu erfüllen, wird zu diesem Zweck die Verstärkungsschaltung nach Bild 2b oder die Abschwächschaltung nach Bild 2c verwendet.

Die Wirkungsweise wird nach folgender Modellvorstellung erklärt [7]:

Für die digitalisierte Stoßreaktion gilt als Ansatz:

$$g(n) = \sum_{i=k}^{m} \alpha_i \delta(n - i) .$$

Hier stellt α_i ein Maß für die diskretisierte Stoßreaktionsamplitude für den i-ten Teilimpuls dar und n ist der diskrete Zeitpunkt ab Eintreffen des anregenden Testimpulses. Das diskretisierte Ausgangssignal lautet:

$$a(n) = e(n) + e(n) \sum_{i=k}^{m} \alpha_i \delta(n - i) .$$

Daraus folgt das diskretisierte Amplitudenspektrum $A(l)$ mit der diskreten Frequenzabszisse l:

$$A(l) = E(l) \{1 + \sum_{i=k}^{m} \alpha_i \exp(-j2\pi li/N)\} .$$

Die Betragsbildung ergibt:

$$|A(l)|^2 = |E(l)|^2 \, |1 + \sum_{i=k}^{m} \alpha_i \exp(-j2\pi li/N)|^2 .$$

Bei kleinen Werten von α_i, durch die Schaltung Bild 2b oder c realisierbar, kann man die Glieder höherer Ordnung in α gleich Null setzen und erhält:

$$|A(l)|^2 = |E(l)|^2 \left(1 + 2 \sum_{i=k}^{m} \alpha_i \cos\left(\frac{2\pi l \cdot i}{N}\right)\right),$$

und durch Logarithmieren ergibt sich:

$$\ln |A(l)|^2 = \ln |E(l)^2| + 2 \sum_{i=k}^{m} \alpha_i \cos \frac{2\pi li}{N} .$$

Die Fourier-Rücktransformation ergibt wiederum zwei additive Komponenten, von denen nur der zweite Summand die interessante Information über die Stoßreaktion α_i und in diskretem Maßstab die Lage des Teilimpulses enthält, und zwar überraschend prinzipiell den gleichen Verlauf wie die Stoßreaktion des Meßobjektes.

Das Leistungs-Cepstrum lautet nach [7] bei diskretisierter und periodischer Abtastung:

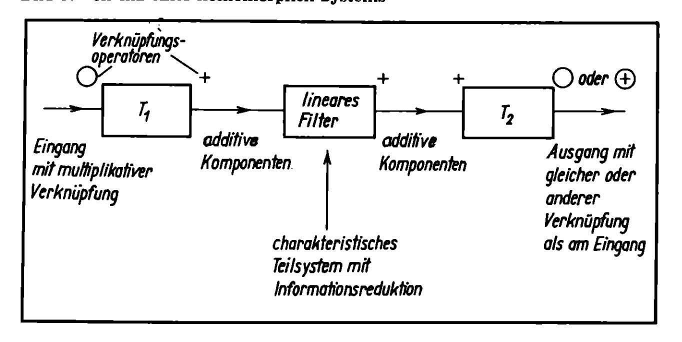
$$c_l(n) = F_d^{-1}\{\ln |E(l)|^2\} + \sum_{i=k}^{m} \alpha_i(\delta(n - 1) + \delta(n - i)) ,$$

wobei F_d die diskrete Fourier-Transformation bedeutet und F_d^{-1} die diskrete Rücktransformation.

Diese als homorphe Filterung bezeichnete Methode [8] hängt von der Lage der beiden Komponenten im Zeitbereich ab und findet darin ihre Grenze.

Paradox erscheint bei dem von *Moltmann* und *Zecha* vorgeschlagenen Verfahren zur Ermittlung der Stoßreaktion eines Echo-Objektes, daß trotz des Wegfalls der Phaseninformation des

Bild 6. Schema eines homomorphen Systems



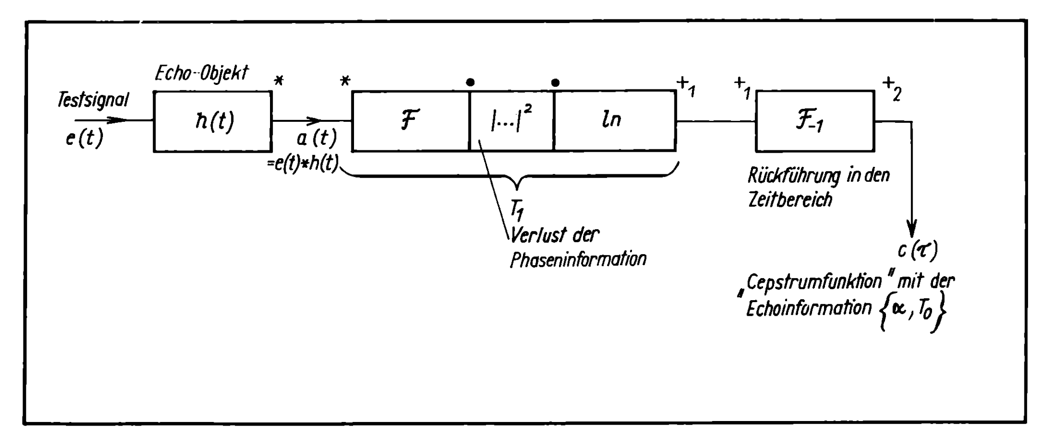


Bild 7. Schema eines Cepstrums
* Faltungsprodukt; ● algebraisches Produkt; $+_1$ Summe im Spektralbereich; $+_2$ Summe im Zeitbereich

Amplitudenspektrums $A(\omega)$ bei der Bildung des Leistungsspektrums die Stoßreaktion des Meßobjektes vollständig wiedergewonnen wird. Das eigentlich Wesentliche ist dabei, daß man nicht das Leistungsspektrum der Stoßreaktion analysiert, sondern das Leistungsspektrum des von dem Nebenecho modulierten Testsignals und zugleich das des Hauptechos. Daher wird der Phasengang des modulierten Testsignals im Spektralbereich nicht benötigt. Es genügt die Kenntnis des Betrages des Amplitudenganges des modulierten Testsignals nach Bild 3.

5. Homomorphe Signalwandlung und nichtlineare Filterung

Die Cepstrum-Methode läßt sich in die Klasse der **homomorphen** Systeme einordnen (Bild 6). Die Bezeichnung „homorphes System" wurde von *Oppenheim* eingeführt und der Algebra entnommen. In der Sprache der Signaltheorie bedeutet der Homomorphismus eine Signalabbildung mit Informationsverlust.
Anwendung findet nach Bild 7 eine derartige Signalwandlung auf Signale, die aus einer **multiplikativen** Verknüpfung zweier oder mehrerer Komponenten besteht. Eine derartige Verknüpfung soll in eine **additive** Verknüpfung übergeführt werden, um eine Filterung durch ein lineares Netzwerk, d. h. ein klassisches Filter, durchzuführen. Während diese aber nur zur Signalselektion dienen, d. h. zur Heraushebung einer Komponente und zur Unterdrückung der anderen Komponente, haben modernere Anwendungen das Ziel, die eine Komponente hervorzuheben, die andere abzuschwächen. Dies geschieht beispielsweise bei Bildverarbeitungs-Systemen durch die Veränderung der Komponenten Kontrast und Dynamik (Grauabstufung) in einer oder anderer Richtung. Weitere Anwendungen ergeben sich nach [8] bei der Geräusch- und Sprachanalyse.
Damit sich die Signalkomponenten nicht gegenseitig beeinflussen, muß für die Hintransformation T_1 und für die Rücktransformation T_2 das **verallgemeinerte** Superpositionsgesetz gelten. Es lautet:

$$T\{x_1 \bigcirc x_2\} = T\{x_1\} \oplus T\{x_2\} .$$

Hierbei bedeuten $\bigcirc$ und $\oplus$ zwei verschiedene Verknüpfungsrelationen (oder Verknüpfungsoperationen), die folgendes besagen: Die Transformierte der verknüpften Signalkomponenten $x_1 \bigcirc x_2$ soll gleich der Verknüpfung $\oplus$ der Transformierten der Signalkomponenten selbst sein. Man muß also sorgfältig zwischen der Signaltransformation und der Verknüpfungsoperation unterscheiden! Das übliche Superpositionsgesetz dagegen lautet:

$$T\{x_1 + x_2\} = T\{x_1\} + T\{x_2\}$$

mit „$\bigcirc$" = „+" und „$\oplus$" = „+"

als gemeinsame Verknüpfungsoperation. Dies wird auch als Additions-Theorem bezeichnet. Man beachte, daß die Fourier-Transformation **beide** Superpositionssätze erfüllt. Denn es gilt für die Faltungstransformation „*":

$$F\{x_1 * x_2\} + F\{x_3 * x_4\} = F\{x_1\} \cdot F\{x_2\} + F\{x_3\} \cdot F\{x_4\} .$$

Die erste Transformation T_1 erfolgt bei der Cepstrum-Methode in zwei Schritten. Erst wird das Faltungsprodukt an ein algebraisches Produkt im Spektralbereich umgeformt und später das algebraische Produkt durch Logarithmierung in eine Summe, d. h. in zwei additive Komponenten. Im Unterschied zum homomorphen System nach *Oppenheim* wird aber bereits vor der Logarithmierung durch den Übergang vom komplexen Amplitudenspektrum zum reellen Leistungsspektrum eine Informationsreduktion vorgenommen, und es erscheint nach der Logarithmierung **kein** lineares Filter mehr, sondern unmittelbar eine Rücktransformation T_2 in den Zeitbereich in Form der Fourier-Transformation F_{-1}. Dies geschieht, weil im Zeitbereich durch die graphische Darstellung eine Zeitselektion ohne besondere Eingriffe möglich ist, da sich, zumindestens im Idealfall, die Diracstöße als Abbildung der Signalkomponenten in der Zeitdarstellung deutlich voneinander unterscheiden, weit besser als die primären Signalkomponenten (Haupt- und Nebenecho). Daher kann man die Echoinformationen unmittelbar der Zeitdarstellung entnehmen: das relative Amplitudenverhältnis α_i und die Zeitdifferenz T_i.
Somit bestehen zwischen der kanonischen homomorphen Signalwandlung und der Cepstrum-Methode doch **wesentliche Unterschiede**. Insgesamt kann der hier dargestellte Methodenkomplex als eine interessante Weiterentwicklung der Meßstochastik, speziell der Korrelationsanalyse, angesehen werden.

Literatur

[1] *Barnick, W.; Jakovlev, A. N.; Moltmann, A.; Wassiliew, W. W.:* Determinierte und statistische Eigenschaften des Cepstrums. Wiss. Zeitschr. der WPU Rostock 29 (1980) 10, S. 95.
[2] *Bogert, B.; Healy, M.; Tukey, J.:* The Quefrency Analysis of Time Series for Echos. Proc. Symp. on Time Series Analysis (Ed. N. Y. *M. Rosenblatt*). 1963, Ch. 15.
[3] *Tukey, J. W.; Cooley, J. W.:* An Algorithm for Machine Calculation of Complex Fourier Series. Mathem. Computation 19 (1965).
[4] *Childers, C. D.:* The Cepstrum, a Guide to Processing. Prof. IEEE 65 (1977) 10, pp. 10.
[5] *Lange, F.-H.:* Methoden der Meßstochastik. Berlin: Akademie-Verlag 1978.
[6] *Lange, F.-H.:* Störfestigkeit in der Nachrichten- und Meßtechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
[7] *Moltmann, A.:* Analyse von Laufzeitsystemen am Beispiel der Hydroortung. Dissertation A, WPU Rostock 1983.
[8] *Oppenheim, A. V.:* Digital Signal Procession. Englewood Cliffs/New Jersey: Prentice Hall (Übersetzung ins Russische, Moskau: SWJAS 1979).
[9] *Schwarzlander, H.:* A Cepstrum Processor for Signals with Multipath Distortion. NTG-Bericht über Signalverarbeitung vom 4. bis 6. April 1973 (Herausgeber *W. Schüßler*). Erlangen/BRD.
[10] *Wendt, G.; Barnick, W.:* Probleme der hydroakustischen Ortung. Dissertation B, WPU Rostock 1982.
[11] *Zecha, M.:* Bestimmung der Stoßreaktion hydroakustischer Ortungsziele. Wiss. Zeitschr. d. WPU Rostock 27 (1978) 9, S. 995.
[12] *Zecha, M.; Moltmann, A.:* Application of Nonlinear Filtering in Measurement Technique. Acta IMEKO 1979.
[13] *Zecha, M.:* Echoinformation und Methoden der Zielerkennung in der Hydroortung. Promotion B. WPU Rostock 1984. msr 8031

(Fortsetzung von S. 253)

[11] *Hertel, G.:* Modellbildung von Bedienungssystemen mit störanfälligen Kanälen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List", Dresden 29 (1982) 4, S. 473–490.
[12] *Hertel, G.; Wölfel, A.:* Der Einfluß des Störungsgeschehens auf die Qualität von Transportprozessen (Wartesystem). Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie. VII. MKÖ Halle/Wittenberg, 26. bis 29. Oktober 1982.
[13] *Hertel, G.:* Grenzwerte für den Rückstau vor Bedienungsknoten bei einigen GI/G/s-Wartesystemen. Die Eisenbahntechnik, Berlin 30 (1982) 9, S. 479–481.
[14] *Hertel, G.:* Umfassendere Einschätzung von Bedienungssystemen durch Spitzenfaktor und Variationskoeffizient. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List", Dresden 29 (1982) 5, Sonderbeilage: Beiträge zur Weiterentwicklung der technologischen Grundlagen von Transport- und Nachrichtenverkehrsprozessen, S. 48 bis 82. msr 7870

(Fortsetzung von S. 270)

[9] *Kaatz, K.-H.; Mewes, K.; Ittner, W.:* Grobaufgabenstellung Automatisierung und Prozeßführung Wasserwerk Colbitz. Unveröffentlichtes Material, VEB WAB Magdeburg 1981.
[10] Systemkomponenten für die Automatisierung verfahrenstechnischer Prozeßabläufe. Prospektmaterial. VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, Teltow 1982.
[11] *Meißner, A.:* Speicherung und Generierung dialogorientierter objektspezifischer grafischer Darstellungen für den Wartenbetrieb (Nachnutzungsdokumentation). AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Berlin 1981.
[12] *Mewes, H.-J.:* Problemlösung für die automatisierte Prozeßführung im Wasserwerk Colbitz. Diplomarbeit, TH Magdeburg 1983. msr 7989

Industrierobotersteuerungen 20

5. Industrieroboter in flexiblen Fertigungssystemen

5.1. *Entwicklungstendenzen*

Zum Abschluß dieser Fortsetzungsreihe sollen einige Entwicklungstendenzen aufgezeigt werden, die sich aus gegenwärtiger Sicht in der Roboter- und zugeordneten Steuerungstechnik abzeichnen und insbesondere in der dritten Robotergeneration von Bedeutung sind.
Mit dem Einsatz von Industrierobotern in flexiblen Fertigungssystemen ergeben sich im wesentlichen folgende Probleme:

- Die Integration der Roboter in das Fertigungssystem erfordert in der Regel eine Off-line-Programmierung. Um die Abläufe im Gesamtsystem überschaubar zu halten, ist darüber hinaus eine mehr globale Aufgabenformulierung für die Teilsysteme Bearbeitungsmaschinen, Roboter und Hilfseinrichtungen notwendig. Das zwingt zu einer Dezentralisierung von Verarbeitungsleistung in die diesen Teilsystemen zugeordneten Steuerungen
- Bei der Projektierung des technologischen Ablaufs sind die Fertigungsmöglichkeiten der vorhandenen Automatisierungseinrichtung zugrunde zu legen. Die Programmierung der Industrieroboter erfolgt, wie auch die der anderen am Prozeß beteiligten Maschinen und Einrichtungen, bereits beim Entwurf und bei der Konstruktion neuer zur Produktion vorgesehener Erzeugnisse (CAD-CAM-Systeme). Dabei ist eine besonders enge und im Sinne einer optimalen Gestaltung des Bearbeitungsablaufes erstrebenswerte Wechselwirkung zwischen Erzeugnis und Prozeßgestaltung notwendig.
- Die Flexibilität des Gesamtsystems wird wesentlich auch durch die der integrierten Roboter bestimmt. An der Schnittstelle zum technologischen Prozeß wird sie durch den Einsatz von Sensorsystemen in Verbindung mit komplexen Umweltmodellen gewährleistet. Damit reduzieren sich die Anforderungen an Genauigkeit und werkstückspezifische Auslegung der Peripherie und in der Folge auch der Umrüstaufwand. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von technologischen Aufgaben, die grundsätzlich nur mit Hilfe von Sensorsystemen sinnvoll lösbar sind.

Aus diesen Forderungen ergeben sich Konsequenzen für die Gestaltung der Steuerung und des Programmiersystems. So bedingen die Forderungen nach Off-line-Programmierung und nach minimalem Zeitaufwand beim Einfahren der Programme das Vorhandensein eines ausgebauten Systems zur Verarbeitung von IR-Programmiersprachen (Sprachsystem) sowie die Möglichkeit der Simulation der programmierten Bewegungs- und

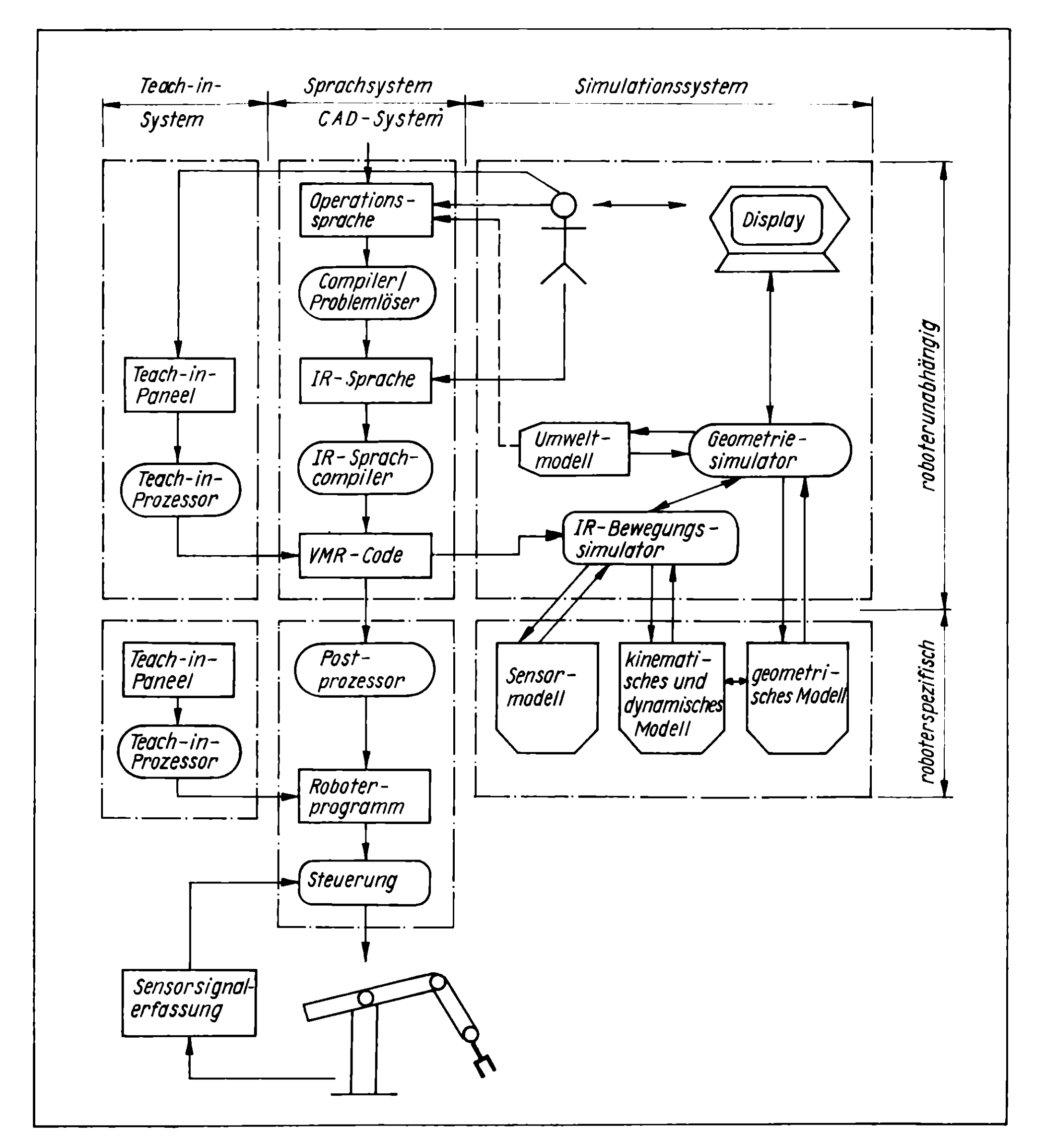


Bild 5.1. Grundstruktur eines Off-line-Programmiersystems nach [5.1]

Aktionsabläufe zum Zweck des Tests und der Korrektur (Simulationssystem). Durch ein solches Simulationssystem, das auch auf das gesamte Fertigungssystem ausgedehnt sein kann, wird auch die interaktive Arbeit bei der Projektierung des technologischen Ablaufes (CAM) in Wechselwirkung mit der Konstruktion der Erzeugnisse (CAD) unterstützt.
Den Forderungen nach problemnaher Programmierung und globaler Aufgabenformulierung wird die Einführung von impliziten technologischen Fachsprachen gerecht. Für ihre Verarbeitung sind Problemlösetechniken zur Planung von Teilabläufen aus den globalen Zielformulierungen erforderlich.
Nachfolgend sollen der Aspekt der Programmierung von Industrierobotern in flexiblen Fertigungssystemen weiter verfolgt und ein entsprechendes Programmiersystem im Ansatz dargestellt werden.

5.2. *Programmiersystem für Industrieroboter in flexiblen Fertigungssystemen*

Die *Grundstruktur* des Programmiersystems ist im Bild 5.1 dargestellt. Sie gliedert sich vertikal in einen roboterinvarianten Teil (oben) und einen roboterspezifischen Teil (unten). In der horizontalen Anordnung sind das Teach-in-System, das Sprachsystem und das Simulationssystem zu unterscheiden. Der Standardablauf für die Programmerstellung vollzieht sich in folgenden Schritten:
Das von Hand geschriebene oder durch ein CAD-System erzeugte Programm in einer technologischen Fachsprache (Operationssprache) wird durch einen Compiler/Problemlöser in eine (algorithmische) Robotersprache übersetzt. Dabei werden die globalen Aufgabenformulierungen der Operationssprache in algorithmische Bewegungs- und Aktionsabläufe aufgelöst. Das entstehende Programm in Robotersprache ist rücklesbar und kann so direkt geändert oder korrigiert werden. Der IR-Sprachcompiler erzeugt einen Zwischenkode (Virtueller Maschinenkode des Roboters/VMR-Kode), der einerseits vom Simulationssystem abgearbeitet, andererseits durch einen Postprozessor in die steuerungsinterne Sprache umgesetzt werden kann. Im ersten Fall wird die geplante bzw. programmierte Bewegungs- und Aktionsfolge des Roboters simuliert, geeignet dargestellt und kann über das roboterunabhängige Teach-in-System oder über das Sprachsystem ergänzt (Einfügen von Raumpunkten), geändert oder korrigiert werden. Das roboterabhängige Teach-in-System wird beim Einfahren des IR-Programmes am Arbeitsplatz benötigt. Dabei brauchen nur noch Feinkorrekturen vorgenommen zu werden, da das Programm selbst interaktiv im Wechselspiel Simulation—Programmänderung anhand der im Simulator vorliegenden Modelle vollständig erstellt wird. Das kann insbesondere auch in einer zentralen Programmierstation räumlich getrennt vom Roboter erfolgen.
Als im Vergleich zur bisherigen Programmiertechnik wesentlich neue Teilsysteme werden nachfolgend die Operationssprache und deren Umsetzung und das Simulationssystem kurz beschrieben.

5.3. *Implizite Programmierung*

Das Wesen der impliziten Programmierung besteht darin, daß anstelle des konkreten Algorithmus des auszuführenden technologischen Ablaufes in mehr globaler Formulierung das Arbeitsziel bzw. die Arbeitsaufgabe vorgegeben wird. Ein Beispiel für eine derartige Instruktion ist

>FÜGE DECKEL AUF GEHÄUSE< .

Zur Ausführung dieser Instruktion sind zunächst (vor Starten der Programmausführung) die Objekte DECKEL und GEHÄUSE durch geeignete Vereinbarungen zu definieren und zu spezifizieren. Dabei wird intern eine Datei der zu manipulierenden oder zu bearbeitenden Objekte mit allen erforderlichen charakteristischen Daten (z. B. Orientierungsmerkmale von DECKEL und GEHÄUSE) angelegt. Das entspricht dem Datensatz bei der klassischen algorithmischen Programmierung. Die eigentliche Operation FÜGE ... AUF ... wird durch einen Problemlöser in die erforderlichen algorithmischen Arbeitsschritte zerlegt, beispielsweise

1. Suche Deckel auf Förderband
2. Stelle Orientierung fest
3. Greife Deckel lage- und orientierungsrichtig vom bewegten Förderband
4. Transportiere Deckel zum Gehäuse
5. Senke Deckel mit vereinbarter Maximalkraft, bis Gesamthöhe Deckel + Gehäuse erreicht.

Die für diese Zerlegung benötigten Informationen über den Roboterarbeitsplatz (z. B. Art der vorhandenen Peripherie, Bedingungen bei der Zu- und Abführung) werden dem Umweltmodell entnommen.
Der Problemlöser entspricht somit dem Interpreter der algorithmischen Programmierung (Problemlöser + Globalprogramm = „intelligente" virtuelle Maschine).
Die Instruktionen der Operationssprache können auch wesentlich komplexer als im oben genannten Fall sein. Soll beispielsweise durch einen geeigneten Befehl die Montage einer vollständigen Baugruppe an einem Roboterarbeitsplatz programmierbar sein, muß der Problemlöser die richtige Reihenfolge der einzelnen Montageschritte, die jeweils benötigten Greifwerkzeuge und Montagehilfsmittel sowie — falls erforderlich — den Einsatz geeigneter Sensoren bestimmen.
Obwohl die Montage die höchsten Forderungen an das Sprachsystem stellt, werden auch für andere Aufgabenbereiche (Schweißen, Beschickung, Farbspritzen) Operationssprachen entwickelt. Die hierzu erforderlichen Compiler und Problemlöser legen nicht nur die Bewegungsfolge des IR fest, sondern bestimmen gleichzeitig anhand der Datei der Werkstücke die notwendigen Parameter zur Durchführung des technologischen Prozesses (beim Schweißen z. B. Ein- und Ausschaltzeitpunkte des Schweißstromes, Stromstärke und Vorschubgeschwindigkeit).

5.4. *Simulation von IR-Bewegungen und Aktionen*

Durch das Simulationssystem werden der Roboter einschließlich Steuerung und seine Umgebung nachgebildet und die programmierte Bewegungs- und Aktionsfolge anhand dieser Daten getestet, vervollständigt bzw. interaktiv korrigiert. Mit Hilfe des kinematischen Modells kann die Erreichbarkeit der geforderten Positionen und Orientierungen geprüft werden. Die Simulation von Bewegungen mit dynamischen Roboterdaten einschließlich evtl. im Greifer befindlicher Massen ergibt die erreichbaren Zykluszeiten. Der Einsatz von Sensoren macht in Abhängigkeit von ihrer steuerungstechnischen Aufgabe die Simulation der Sensorfunktion selbst, der durch sie alternativ ausgelösten Bewegungsprogrammschritte oder der durch sie bewirkten Korrektur von Bewegungsparametern erforderlich.
Mit dem geometrischen Robotermodell läßt sich das Bewegungsprogramm anhand des Umweltmodells auf Kollisionsfreiheit testen. Umweltmodelle können je nach Aufgabenbereich und Anforderungen unterschiedlich ausgebaut sein. Sie bestehen im einfachsten Fall aus einer Deklaration verbotener Zonen, ausgebaute Systeme verfügen über geometrische Darstellungen der Peripherie und können auch die bei der Ausführung der technologischen Aufgabe eintretenden Veränderungen enthalten, z. B. Werkstückstapel, Zustände beweglicher peripherer Geräte usw. Hierzu gehört auch die geometrische Simulation der Bewegung mehrerer Roboter einschließlich im Greifer befindlicher Werkstücke, wenn sich deren Arbeitsräume überschneiden.

5.5. *Ausblick*

Die hier dargestellte Grundstruktur eines Programmiersystems für IR in flexiblen Fertigungssystemen ist durch eine starke Interaktion mit dem Bediener gekennzeichnet.
Mit fortschreitender Entwicklung wird sich auch die IR-Programmierung immer weiter automatisieren lassen, zunächst über das selbständige Generieren von Ausweichmöglichkeiten bei Kollisionsgefahr bis hin zur direkten Kommunikation zwischen Sprachsystem und Simulationssystem sowie der Erstellung und ständigen Anpassung von Umweltmodellen über visuelle Systeme und andere Sensoren.
Die direkte Rückkopplung vom Prozeß zum Programmiersystem ist das steuerungstechnische Merkmal der 3. IR-Generation. Damit wird nicht nur der Programieraufwand für komplexe Aufgaben in flexiblen Fertigungssystemen gesenkt, sondern auch die Voraussetzung für den Robotereinsatz in den Bereichen geschaffen, wo aufgrund des Einzelcharakters der Aufgaben eine Automatisierung bisher ökonomisch nicht vertretbar war.

Literatur

[5.1.] CAM-I proposes standards in robot software. The Industrial Robot (1982) Dec., pp. 252—253.

msr 7680 Prof. Dr. sc. techn. *W. Schwarz*, TU Dresden, und Dr.-Ing. *M. Zecha*, AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesses, Institutsteil Berlin

Damit ist die Fortsetzungsreihe „Industrierobotersteuerungen" abgeschlossen. Die Redaktion bedankt sich, auch im Namen der Leser, bei allen Autoren, die an dieser Reihe mitgearbeitet und so bei Entwicklern und Anwendern zur Erweiterung der Kenntnisse auf diesem wichtigen und aktuellen Gebiet der Automatisierungstechnik beigetragen haben.

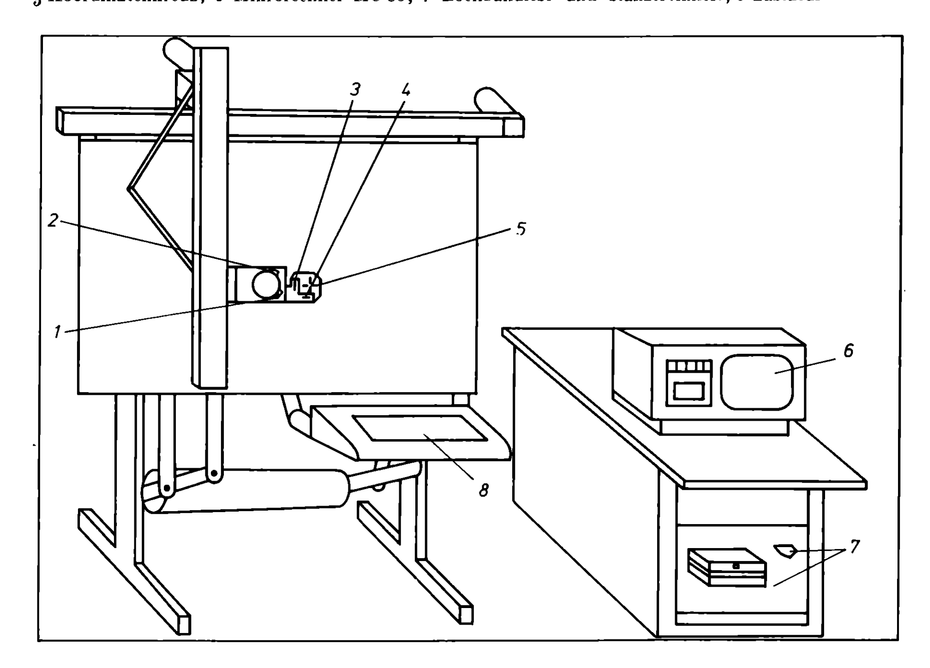
Digitalisierarbeitsplatz mit Mikrorechner MC 80

Die Notwendigkeit einer Digitalisiereinrichtung ergibt sich aus den Erfordernissen der Mikroelektronik im Zusammenhang mit einem rationellen Entwurf von Leiterplatten. Infolge der Miniaturisierung der Bauelemente und der steigenden Packungsdichte von Leiterplatten ergeben sich komplizierte Leiterplattenstrukturen, die mit der erforderlichen Genauigkeit nur noch maschinell gezeichnet werden können. Dazu sind digitalisierte Vorlagen in Form von Lochstreifen oder anderen Datenträgern notwendig. Diese Datenträger können von Hand nach entsprechenden Digitalisiervorschriften über Lochstreifenstanzer erstellt werden. Wesentlich effektiver ist jedoch die Digitalisierung mit Hilfe einer Digitalisiereinrichtung (Bild). Ausgehend von einer Vorlage auf Rasterpapier werden mit einem $X - Y$-Schlitten, der von Hand geführt wird, schrittweise die markanten Punkte der Vorlage angefahren und mittels Tastendruck aufgenommen. Die Koordinaten dieser Punkte werden durch einen Steuerrechner entsprechend der programmierten Vorschrift und der vereinbarten Bedeutung in Steuerbefehle für eine Zeichenanlage umgesetzt.
Die Hauptbaugruppen der hier vorgestellten Digitalisiereinrichtung sind ein umgebautes Zeichenbrett „Perfekt", eine Impulsaufbereitung für die Koordinatenmessung, ein Mikrorechner MC 80 und eine Lochbandlese- und -stanzereinheit K 6002. Auf die Schienen der X- und Y-Achse der Zeichenmaschine wurde je ein Impulsgeber IGR 2500 montiert. Die Verschiebung der Koordinatenwagen wird über Seile und Seilrollen auf die Achsen der IGR übertragen. Der Zeichenkopf wurde durch eine Abtasteinheit ersetzt, die die Übernahmetasten für Knickpunkt und Leiterzug sowie die Koordinaten-LED „X" und „Y" in Verbindung mit dem Koordinatenkreuz enthält. Zur Auswertung der durch die Impulsgeber bereitgestellten Signale wurde eine IGR-Impulsaufbereitungsbaugruppe aus dem MIRAS-Baugruppensystem der Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow eingesetzt. Diese Baugruppe konnte direkt auf den freien Steckplatz des Mikrorechners gesetzt werden, der durch geringfügige Änderungen bzw. Ergänzungen des Grundgerätes MC 80/21 für die Funktion als Steuerrechner modifiziert wurde. Die Lochbandeinheit ist direkt an den MC-80-Systembus angeschlossen.
Die für diesen Aufbau entwickelte Software erlaubt folgende Arbeiten mit dem Gerät:

- Erfassung der Koordinaten in Bezug zum Ursprung des Koordinatensystems der Leiterplatte
- Eingabe der Daten für Leiterzüge über die Tastatur
- Abspeichern einer Datei von etwa 2000 Digitalisierungspunkten im Speicher
- Freie Änderungsmöglichkeiten innerhalb einer im Speicher vorhandenen Datei
- Auslagerung der Datei auf Lochband mit dem ISO-7-bit-Kode gerader Parität (TGL 23207)
- Syntaxkontrolle bei der Eingabe von Daten.

Bild. Digitalisiersarbeitsplatz mit Mikrorechner MC 80

1 Taste Knickpunkt; *2* Taste Leiterzug; *3* Koordinaten-LED „Y"; *4* Koordinaten-LED „X"; *5* Koordinatenkreuz; *6* Mikrorechner MC 80; *7* Lochbandlese- und -stanzereinheit; *8* Tastatur



Technische Daten:

größtmögliche digitalisierbare Leiterplatte	300 mm × 300 mm, M 1:1
Maßstab des Entwurfs	M 2:1
Erfassungsgeschwindigkeit	etwa 1 ... 3 s/Koordinate
Mikrorechner	MC 80.21 1 × 16 K byte EPROM 1 × 16 K byte RAM
Lochbandkode	ISO-7-bit gerade Parität
Programmsprache	2-80 Mnemonik
Betriebsspannung	220 V + 10% −15% (47 ... 63 Hz)
Leistungsaufnahme	etwa 150 W bzw. 400 W (ohne bzw. mit Lochbandeinheit)
Stellfläche	1,5 m × 2,5 m.

Diese Neuererleistung wurde im VEB Elektronik Gera, einem Betrieb des Kombinats VEB Elektronische Bauelemente, entwickelt und ist unter Beachtung der dafür geltenden Bestimmungen nachnutzbar.

msr 8026 *R. Wolf*

Verbindungsprogrammierte und speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen. Von *H. Gottschalk.* Band 209 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK.' Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 80 Seiten, 57 Bilder, 10 Tafeln, 4,80 Mark.
Bestell-Nr. 5533484

In diesem Band der RA werden Baugruppen des Systems ursalog 4000 zur Realisierung verbindungsprogrammierter Steuerungen und die speicherprogrammierbare Steuereinrichtung ursalog 5010 beschrieben.
Ausgehend von einem kurzen Überblick über die Entwicklung von digitalen Bausteinsystemen in der DDR seit 1960 werden zunächst die Merkmale und Eigenschaften verbindungsprogrammierter und speicherprogrammierbarer Steuereinrichtungen gegenübergestellt. Damit wird dem Leser von vornherein der Eindruck vermittelt, daß beide Arten der Realisierung von binären Steuerungen auch zukünftig ihre spezifischen Anwendungsbereiche haben werden und daß eine gemischte Anwendung in bestimmten Fällen sogar besondere ökonomische Vorteile mit sich bringen würde.
Die Beschreibung des Baugruppensystems ursalog 4000 beinhaltet Aussagen über die konstruktive Gestaltung des Systems, eine Erläuterung der funktionellen Parameter und Einsatzbedingungen der zum Aufbau der Baugruppen verwendeten Schaltkreise, einen Überblick über das Typensortiment an Baugruppen und eine Reihe von Anwendungshinweisen und -beispielen.
Bei der Vorstellung der speicherprogrammierbaren Steuereinrichtung ursalog 5010 werden zunächst der konstruktive Aufbau und das Funktionsprinzip beschrieben. Danach wird auf die Programmierung eingegangen, die auf der Basis eines vorliegenden Logikplans in der Fachsprache PROLOG 1 erfolgt. Dazu steht ein Programmiergerät zur Verfügung, das den zugehörigen Compiler enthält.
Der Band ist leicht verständlich geschrieben und vermittelt in übersichtlicher Form das für den Einsatz der beiden vorgestellten Systeme notwendige Grundwissen. Er kann dem auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik tätigen Ingenieur und Studierenden einschlägiger Fachrichtungen empfohlen werden.

B 1902 *H. J. Zander*

Polytechnisches Wörterbuch. Spanisch — Deutsch. 3., durchgesehene Auflage. Herausgegeben von *K. H. Radde* unter Mitarbeit von *F. Laguna de la Vera.* Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 716 Seiten, 50,— Mark.
Bestell-Nr. 5523323

Die dritte Auflage dieses Wörterbuches stellt einen im wesentlichen unveränderten Nachdruck des 1976 erschienenen Werkes dar. Druckfehler wurden beseitigt, eine Reihe von Begriffskorrespondenzen schärfer gefaßt sowie einige Wortstellen durch aktuellere bzw. bedeutsamere ersetzt. Die Entscheidung für diese Form einer dritten Auflage ist zu unterstützen. Einmal dürfte die ständige Ausweitung wissenschaftlich-technischer Beziehungen zu spanischsprechenden Ländern den Bedarf an einem solchen Wörterbuch wesentlich steigern. Zum anderen lotet ein polytechnisches Wörterbuch nicht wie ein Spezialwörterbuch in die Tiefe einer einzigen Disziplin. Sein Anliegen besteht vielmehr in einer Berücksichtigung aller technischen Gebiete, weshalb notwendigerweise ein solches Wortgut zur Auswahl kommt, das sich besonders auf die grundlegenden Sachverhalte und Prinzipien der Technik bezieht und daher keinem schnellen Wandel unterworfen ist. Mit seinen etwa 62000 Wortstellen und den eingestreuten Gebietszuordnungen bildet dieses Wörterbuch ein vorzügliches Nachschlagewerk. Der Vielfältigkeit spanischer Ausdrucksweisen wird durch die Aufnahme von Synonymen nicht nur bezüglich der Grundworte, sondern ebenfall bei den Substantiv-Substantiv- und Substantiv-Adjektiv-Komposita Rechnung getragen.
Die drucktechnische Gestaltung ist sehr übersichtlich und erlaubt ein schnelles Auffinden des gesuchten Begriffes. Neben Lernenden, Lehrenden, Fachingenieuren und ausgesprochenen Sprachmittlern dürfte das polytechnische Wörterbuch auch weiterhin bei in Querschnittsgebieten Tätigen eine gute Aufnahme finden. Hierzu gehören u. a. die Automatisierungstechniker, in deren Arbeit von Projekt zu Projekt das Anwendungsgebiet relativ schnell wechselt, wodurch sie sich immer wieder mit einer anderen technisch-technologischen Begriffswelt konfrontiert sehen. Wünschenswert bei der für die Zukunft sicher beabsichtigten größeren Überarbeitung dieses polytechnischen Wörterbuches wäre eine Ergänzung durch diejenigen der in den letzten Jahren entstandenen Begriffe der Mikro- und Minirechentechnik, die für die praktischen Rechnereinsatzprojekte wesentlich sind, von Fachgebietsexperten wie von Computerspezialisten gleichermaßen benutzt werden und somit einen wesentlichen Anteil am interdisziplinären Dialog industriellen Innovationsgeschehens haben.

B 1869 *H. Rudolph*

Automatisierte Systeme zur Steuerung von Betrieben (ASUP) (in Russ.). Von *V. A. Zverev, V. E. Gunina* und *V. P. Kilin.* Moskau: Legkaja i piščevaja prom-st' 1982. 214 Seiten, 7 Tafeln, 15 Bilder.

Der sozialistischen Verwirklichung von Humanismus und Menschenrechten ist ein Streben nach Effektivität in der Einheit von ökonomischer und außerökonomischer, insbesondere sozialer Effektivität immanent. Den überzeugendsten Beitrag erbringt in diesem Zusammenhang gegenwärtig die Kybernetik bei der Erhöhung der Effektivität der Steuerung der Produktionsprozesse, der sich mit der umfangreichen Entwicklung und Anwendung der Mikroelektronik und der damit im Zusammenhang stehenden Technisierung der Informationsverarbeitungsprozesse noch erhöht. Damit gewinnt die Entwicklung und Anwendung von ASU auf unterschiedlichen Ebenen und Bereichen der Volkswirtschaft als eine Möglichkeit zur Überwindung des Widerspruchs zwischen Leistungsfähigkeit der technologischen Basissysteme und dem Niveau ihrer Leitung zunehmend an Bedeutung.
Das Lehrbuch für Fachschulen soll der Ausbildung in den Fachrichtungen „Planung in Industriebetrieben der Leichtindustrie" und „Planung in Betrieben der Textilindustrie" dienen. Es vermittelt die grundlegenden Prinzipien zur Entwicklung und Einführung sowie des Funktionierens von ASU in Betrieben der Leichtindustrie einschließlich der dabei auftretenden organisatorischen Probleme. Auf der Grundlage von Typenprojektlösungen werden funktionelle Teilsysteme der ASUP sowie die hauptsächlichen ökonomischen, mathematisch-ökonomischen, organisatorischen und rechtlichen Fragestellungen erläutert.

B 1798 *J.-A. Müller*

Leben wir in einer Volterra-Welt? Ein ökologischer Zugang zur angewandten Systemanalyse. Von *M. Peschel* und *W. Mende.* Berlin: Akademie-Verlag 1983. 233 Seiten, 52 Bilder, 30,— Mark.

Die Autoren stellen die als Überschrift formulierte Frage mit allem Ernst, wobei sie sich auf die von *Volterra* 1931 formulierten Grundgleichungen der Ökologie beziehen. Auf Gleichungen dieses Typs kommt man, wenn man in der Systemanalyse Wachstumsprozesse modellieren will, wie sie in verschiedenen Fachgebieten vorkommen, z. B. Wirtschaftswachstum (Makroökonomie), Rißwachstum (Technik), Pflanzenwachstum, Wachstum bestimmter Schadstoffkonzentrationen (Ökologie) usw. Dabei ist die Modellierung als Wachstumsrate die logarithmische Ableitung der Indikatoren und als Grundmechanismus für die Wechselwirkung die Ratenkopplung zugrunde zu legen. Anhand eines aussagefähigen Beispielfundus werden diese Annahmen überzeugend belegt, und es wird eine Theorie für die Modellbildung mit Beispielen für die Parameteridentifikation dargestellt, die handhabbar ist und konstruktiv die Modellbildung gestattet. Sehr viele, zum Vergleich auch mit der üblichen Ableitung bearbeitete Beispiele, demonstrieren die Zweckmäßigkeit der direkten Nutzung der logarithmischen Ableitung (und Verallgemeinerungen davon) immer dann, wenn die Problemstellungen unmittelbar auf Volterra-Gleichungen führen. Geht man von klassischen Beispielen, wie dem mathemati-

schen Pendel oder der Kepler-Dynamik (Zweikörperproblem), aus, so wird deutlich, wie durch viele Hilfsvariable die Dimension des Zustandsraumes wesentlich erhöht wurde. Auf rechentechnische Schwierigkeiten und Möglichkeiten zur Absicherung von Rechnersimulationen wird ebenso eingegangen. Die Darstellung ist ingenieurgerecht und bezieht sich auf klassische und moderne Ergebnisse der linearen bzw. im verallgemeinerten Sinne linearen Systemtheorie. Modulare Strukturen und Dekomposition, Blockkonzepte, Graphen, Analogrechnerprogrammstrukturen sind dem Ingenieur bekannt und werden genutzt. Das Buch behandelt determinierte gewöhnliche Differentialgleichugnen. Eine Behandlung auch im stochastischen Fall ist erwünscht, und es bleibt zu hoffen, daß diese als weiteres Buch erscheinen wird. Ansätze für partielle Differentialgleichungen oder Differenzengleichungen (Impulssysteme) werden als ein offenes Problem formuliert. Die Einsatzbreite der Methoden gilt es auszuloten, denn jede Methode ist an Voraussetzungen gebunden. Das Buch ist sehr reich an Ideen, die aufgenommen und umgesetzt werden müssen. Die sehr gut lesbare Darstellung erleichtert dies. Den Lesern werden bereits diesbezügliche Beiträge der Autoren in den Jahren 1981/82 in der Zeitschrift msr aufgefallen sein.

Den großen Ideenreichtum kann man nicht in einer kurzen Besprechung erfassen, und so kann dem an grundsätzlichen Fragen der Modellierung interessierten Leser wärmstens empfohlen werden, dieses Buch zur Hand zu nehmen, wenn es um die Modellklasse der durch Volterra-Gleichungen darstellbaren Modelle geht. Das Buch zeigt uns eine Volterra-Modellklasse. In dem Maße, wie komplexe Volterra-Modelle validiert und genutzt werden, wird der Umfang der Volterra-Welt abgegrenzt werden können, um die Frage des Titels des Buches präzisiert zu beantworten. Der Anfang ist getan.

Die Ergebnisse der Autoren haben bereits großen Widerhall gefunden, und eine erweiterte Ausgabe in englischer Sprache steht vor dem redaktionellen Abschluß.

B 1858 *G. Schwarz*

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Von *J. Wilhelm* u. a. Grafenau/Württ.: expert verlag. Berlin: VDE-Verlag 1981. 260 Seiten, zahlr. Bilder.

Infolge der ständig steigenden Belegungsdichte mit leistungselektrischen Aggregaten, des sinkenden Energieniveaus und der sich vergrößernden Arbeitsfrequenzen bei den mikroelektronischen Bauelementen sowie des räumlich immer näheren Zusammenrückens funktionsintensiver elektronischer Baugruppen und energieintensiver elektrischer Komponenten hat die Problematik der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) sehr stark an Bedeutung gewonnen. Der EMV-Aspekt betrifft dabei sowohl die Beziehungen eines Gerätes zu seiner Umwelt als auch die geräteinternen Beziehungen seiner Elemente zueinander. Allgemein wird deshalb unter elektromagnetischer Verträglichkeit die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, d. h. eines Bauelements, einer Baugruppe, eines Geräts oder einer Anlage verstanden, in einer vorgegebenen elektromagnetischen Umgebung in beabsichtigter Weise zu arbeiten, ohne dabei diese Umgebung durch elektromagnetische Wirkungen in unzulässiger Weise zu beanspruchen. Mit der Verwirklichung dieses Anliegens sind Entwickler, Konstrukteure, Projektanten und Hersteller elektronischer Systeme in ihrer Arbeit täglich konfrontiert. Im einzelnen geht es dabei darum, durch die sinnvolle Anwendung technisch möglicher Maßnahmen mit vertretbarem Aufwand eine EMV-gerechte Erzeugnisqualität zu erreichen, deren Meß- und Prüfbarkeit und damit objektive Vergleichbarkeit gewährleistet sind.

Im Buch ist das zur Lösung dieser Aufgabe erforderliche Grund- und Spezialwissen in insgesamt 10 Kapiteln dargestellt. Nach einer Einführung in die Begriffe und Probleme der EMV werden behandelt: die elektromagnetische Beeinflussung durch leistungselektronische Wandler, die Störsicherheit elektronischer Systeme, die Entstehung und Simulation von Netzstörungen, Probleme der EMV-Meßtechnik, die EMV-gerechte Verkabelung und Erdung, die Beeinflussung von Geräten undAnlagen durch Funkeinrichtungen, der Einsatz von Entstörbauelementen, insbesondere von Filtern, die Beeinflussung biologischer Systeme durch elektromagnetische Strahlung sowie der Aufbau und die Eigenschaften von Meßkabinen und von geschirmten Räumen.

Das Buch ist klar gegliedert, verständlich abgefaßt und mit zahlreichen praktischen Beispielen unterlegt. Es wird deshalb all denen von Nutzen sein, die an der Entwicklung, Herstellung und Einsatzgestaltung elektrischer Betriebsmittel beteiligt oder in Lehre und Ausbildung tätig sind.

B 1793 *E. Habiger*

Abtastregelung. 2. Auflage. von *J. Ackermann.* Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1983. Band I: Analyse und Synthese. 379 Seiten, 71 Bilder; Band II: Entwurf robuster Systeme. 199 Seiten, 48 Bilder.

Abtastregelungen sind bereits seit langem bekannt, denken wir nur an den klassischen Tastbügelregler. Doch erst mit dem Einsatz von Digitalrechnern, insbesondere von Mikrorechnern, ist ein nennenswerter theoretischer Schub auf diesem Gebiet zu verzeichnen. Die Digitalregler bieten eben die Möglichkeit, über klassische Regelungsverfahren hinaus höherwertige, kompliziertere und damit leistungsfähigere Regelungsgesetze zu realisieren.

Einen Beitrag zu diesem Thema liefert *J. Ackermann,* ein seit Jahren bestens ausgewiesener Autor und Spezialist der Abtastregelung. Die 2. Auflage seines Buches wird nun nach einer völligen Neubearbeitung vorgelegt. Außerdem ist der Umfang durch einen 2. Band vergrößert worden, der auch als Ergänzungsband zur 1. Auflage verwendet werden kann. Das wohl wesentliche Charakteristikum der neuen Auflage besteht darin, daß zwei Zielstellungen in glücklicher Weise vereinigt werden konnten:

Zum einen ist es eine Monografie der Abtastregelung und faßt damit die Ergebnisse vieler Autoren zusammen (ganz nebenher vermittelt das Quellenverzeichnis dabei ein Stück Geschichte der Regelungstechnik), zum anderen ist es ein Lehrbuch, geeignet, den Studierenden systematisch in und durch den Stoff zu führen. Als wesentliches Mittel dient dazu das bekannte Beispiel einer Verladebrücke, aus dem eine den Stoff begleitende Übungsserie entwickelt wurde.

Um den Inhalt wenigstens kurz zu umreißen, seien die Kapitel aufgezählt:

Band I: 1. Einführung; 2. Kontinuierliche Systeme; 3. Modellbildung und Analyse von Abtastsystemen; 4. Steuerbarkeit, Wahl der Tastperiode und Polvorgabe; 5. Beobachtbarkeit und Beobachter; 6. Regelkreissynthese; Anhang A: Kanonische Formen der Zustandsdarstellung; Anhang B: Rechenregeln der Z-Transformation; Anhang C: Stabilität.

Band II: 7. Geometrische Stabilitätsuntersuchung und Polgebietsvorgabe; 8. Entwurf robuster Regelkreise; 9. Mehrgrößensysteme; Anhang D: Flugzeugstabilisierung.

B 1803 *B. Rodenbeck*

Elektro-Aufgaben. Band 2. Wechselstrom. Von *H. Lindner.* 15. Auflage. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1981. 144 Seiten, 306 Bilder, 6,50 Mark.

Das Buch liegt jetzt in der 15. Auflage als unveränderter Nachdruck der 14. Auflage vor und hat damit den Bedarf selbst bestätigt; hierüber ein Wort zu verlieren, lohnt sich nicht. Statt dessen einige Anmerkungen zu Änderungen gegenüber früheren Auflagen und einigen meines Erachtens offenen Wünschen:

Alle Aufgaben werden im Internationalen Einheitensystem (SI) behandelt. Dies ist sehr erfreulich. Leider sind die Begriffe noch nicht vollständig der seit 1978 verbindlichen TGL 22112 angepaßt worden. So finden wir noch „Kreisfrequenz“ statt „Winkelfrequenz“ und „Winkel der Phasenverschiebung“ statt „Nullphasenwinkel“. Es wäre auch erfreulich, wenn die in der TGL vorgesehene Unterscheidung zwischen Operatoren — z. B. $\underline{Z}^L$ — und Zeigern sinusförmig zeitabhängiger Größen — z. B. $\underline{U}$ — vorgenommen würde, weil hier erfahrungsgemäß für den Studierenden besonders große Schwierigkeiten liegen.

Den einzelnen Abschnitten sind Formeln zur Lösung der Aufgaben vorangestellt. Dies halte ich für mehr als fragwürdig, denn es verleitet zu einer kochbuchmäßigen Lösung der Aufgaben und widerspricht damit dem Studienziel der Studenten, selbständig denken zu lernen. Meines Erachtens wäre es wesentlich besser, wenn statt dessen die wichtigsten Definitionen und Naturgesetze am Anfang des Buches zusammengestellt würden, so daß der Student weiß, welche die unbedingt zu beherrschenden Grundbeziehungen sind, aus denen sich alles andere ableiten läßt.

Eine wesentliche Bereicherung erfuhr das Buch durch die Aufnahme von Aufgaben zu Ortskurven, die einen wichtigen Bestandteil der komplexen Behandlung von Wechselstromkreisen bilden. Dieser Abschnitt sollte durch Aufgaben zu Inversion allgemeiner Ortskurven vervollständigt werden, also nicht nur die Spezialfälle Gerade und Kreis enthalten. Zumindest wäre ein Hinweis auf die Behandlung solcher Probleme wünschenswert.

Eine weitere Anregung sei gestattet:
Es werden leider keine Aufgaben zur Berechnung der Leistung mit Hilfe der komplexen Rechnung abgeboten, obwohl die Kenntnisse, die zur Bearbeitung der übrigen Abschnitte notwendig sind, auch hierfür ausreichten.
Das Buch ist insgesamt wegen der Vielfalt seiner Aufgaben jedem Studenten der Elektrotechnik zu empfehlen.

B 1853 *G. Odin*

Versuchsplanung (in Russ.) Von *G. I. Krasovskij* und *G. F. Filaretov*. Minsk: Izd-vo BGU im V. I. Lenina 1982. 302 Seiten, 51 Bilder, 70 Tafeln.

Bestandteil jeder naturwissenschaftlich-technischen Forschung sowie der praktischen Tätigkeit vieler Spezialisten ist die Organisation und Planung der experimentellen Untersuchung. Die sich gegenwärtig stark entwickelnde Theorie des Experiments und insbesondere die mathematische Theorie der Versuchsplanung liefert hierbei wertvolle methodologische Grundlagen. Sie formuliert Ansätze und Methoden zur optimalen Organisation des Experiments an unterschiedlichen Untersuchungsgegenständen. Ihre Anwendung ermöglicht, mit geringem Aufwand viele praktisch wichtige Aufgaben, wie Parameterestimation, Prozeßoptimierung, Überprüfung von Hypothesen u. a., effektiv zu lösen. Mit der zur Zeit sich stark entwickelnden Rechentechnik werden Voraussetzungen für eine umfassende Automatisierung der experimentellen Tätigkeit geschaffen.
Die Autoren des Buches sehen ihre Aufgabe darin, die methodologischen Grundlagen der Versuchsplanung einem breiten Leserkreis darzulegen. Dabei können sie sich auf umfangreiche Literatur zu diesen Fragen stützen. Auf der Grundlage von Lehrveranstaltungen am MEI und an der Belorussischen Universität entstand ein Lehrmaterial, das neben den grundlegenden Kapiteln der Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematischen Statistik (Kap. 1—4) die zur Zeit für die Anwendung wichtigsten Ergebnisse der mathematischen Versuchsplanung — Pläne 1. und 2. Ordnung zur Schätzung der Koeffizienten linearer und nichtlinearer Regressionsmodelle sowie einige Grundlagen zur Planung extremaler Experimente (eindimensionale und mehrdimensionale Suche, Gradientenverfahren, stochastische Suchverfahren, Simplexalgorithmus u. a.) — enthält.

B 1799 *K.-H. Winter*

Stochastic Differential Systems (Proceedings of the 2nd Bad Honnef Conference of the SFB 72 of the DFG at the University of Bonn Junge 28—July 2, 1982). Herausgegeben von *M. Kohlmann* und *N. Christopeit*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1982. 377 Seiten.

Der Sammelband enthält die Vorträge auf der vom Sonderforschungsbereich 72 der Deutschen Forschungsgemeinschaft der BRD durchgeführten Tagung über stochastische Differentialsysteme. Teil I umfaßt 13 Beiträge zur allgemeinen Theorie, unter denen eine Einführung in die Methoden der stochastischen Variationsrechnung (*J. M. Bismut*) besonders erwähnt sei. Teil II behandelt in 8 Beiträgen Fragen der Filtertheorie, u. a. zum Entwurf optimaler Zustandsschätzer mit störungstheoretischen Methoden (*Bobrovsky/Geering*), zur robusten Approximation bei nichtlinearer Filterung (*Di Masi/Runggaldier*) und zur adaptiven stochastischen Filterung für Gaußsche Prozesse (*van Schuppen*) sowie eine interessante Dualitätsbeziehung zwischen Filterung und optimaler Steuerung (*Fleming/Mitter*). Besonderes Interesse aus regelungstheoretischer Sicht verdient Teil III, der 15 Arbeiten zur Theorie der stochastischen Steuerung enthält. Prozesse mit „kleinem" stochastischem Anteil werden mit Störungsmethoden untersucht (*Bensoussan*). Vier Beiträge (*Christopeit/Kohlmann, Cutland, Haußmann, Rishel*) sind der optimalen Steuerung partiell beobachteter Prozesse gewidmet. Ferner seien die Randsteuerung stochastischer Prozesse auf mehrdimensionalen Mannigfaltigkeiten (*Boel/Kohlmann, Vermes*), die Nachführung aufgrund verrauschter Beobachtungen (*Davis*), Prozesse mit singulärer Steuerung (*Karatzas*) und die Steuerung von Sprungprozessen (*Pargarauskas*) erwähnt. Die im Tagungsbericht zusammengefaßten Arbeiten sind Ergebnisse neuester mathematischer Forschung, bei denen naturgemäß die Möglichkeiten und Wege zu einer Anwendung auf technische Probleme noch im Hintergrund bleiben.

B 1804 *H. L. Burmeister*

Stochastische Prozeßmodellierung. Anwendung mathematisch-statistischer Methoden zur Prozeßobjektivierung. Von *C. Bollwien* und *J. Auerbach*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1982. 176 Seiten, 31 Bilder, 5 Tafeln, 20,— Mark.

Mit dem gegenwärtig hohen Niveau des Einsatzes der Meß-, Steuer-, Regelungs- und Rechentechnik in technologischen Prozessen ist auch eine ständige Anpassung und Weiterentwicklung von mathematisch-statistischen Methoden zur Prozeßanalyse und -modellierung verbunden. Im Buch legen die Autoren ihre langjährigen Erfahrungen dar, die sie bei der Schaffung von stochastischen Prozeßmodellen für die Stahlerzeugung gesammelt haben und verallgemeinern diese in methodischer Hinsicht.
Im 1. Kapitel werden kurz die wichtigsten stochastischen Verfahren zur Prozeßbeherrschung beschrieben: Korrelations- und Regressionsanalyse, Faktoranalyse, Schätzverfahren, Tests, Vorhersagemodelle. Vom Leser werden dabei Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematischen Statistik erwartet.
Kapitel 2 geht auf den gegenwärtigen Stand der Prozeßbeherrschung ein. Ohne direkten Bezug auf das vorangegangene Kapitel werden Modellarten und methodische Probleme bei der Schaffung von Modellen allgemein und z. T. für die Stahlerzeugung behandelt.
Es ist überlegenswert, ob nicht in einer nachfolgenden Auflage Kapitel 1 und 2 getauscht werden sollten.
Recht praktikabel ist Kapitel 3 („Einige Problemlösungsvorschläge für die Entwicklung stochastischer Prozeßmodelle") mit Vorschriften bzw. Bemessungsgleichungen: minimaler Stichprobenumfang, Ausreißerermittlung, Bewertung der Multikollinearität sowie zur Prüfung auf Normalverteilung. Die Autoren vermitteln hier auch einige selbst entwickelte Methoden.
Schließlich wird in knapp 50 Seiten im 4. Kapitel eine „Modellierungsstrategie" skizziert. Aus allgemeinen Darlegungen über die Aufgaben und Ergebnisse einer Prozeßanalyse erläutern die Verfasser sehr instruktiv die Bedeutung der Eingangsinformationen für eine nachfolgende Wahl des Prozeßmodells einschließlich deren ständiger Verbesserung und Aktualisierung.
Ein abschließendes Kapitel bringt praktische Anwendungen (Herstellung von Leichtzuschlagstoffen in Drehrohröfen und Stahlerzeugung in Konvertern) mit konkreten Zahlenwerten und Diskussion der verwendeten Methoden.
Das Buch ist leicht lesbar geschrieben. Die Zahl der mathematischen Zusammenhänge ist zugunsten längerer Texterläuterungen auf ein Minimum reduziert, wobei auf deren Herleitung fast gänzlich verzichtet wurde.
Damit liegt ein Buch vor, das einem breiten Leserkreis empfohlen werden kann. Insbesondere werden Ingenieure, Ökonomen und Techniker aller Disziplinen wertvolle Anregungen erhalten. Ein — nach Einschätzung des Rezensenten gelungenes — Wagnis ist das im gesamten Buch durchgängig verwendete „trivial erscheinende Beispiel" über „Herrn Müller", der für die Zucht seiner Blumen ein Prozeßmodell erarbeitet.
Durch die damit erreichte Auflockerung werden auch jene das Buch zu Ende lesen, die nicht unmittelbar die dargelegten Methoden in ihrer Tätigkeit benötigen.

B 1860 *W. Sauer*

Numerische Mathematik für Ingenieure. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Von *G. Jordan-Engeln* und *F. Reuter*. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliographisches Institut 1982. 544 Seiten, zahlr. Bilder.

Die Autoren geben eine präzise und sehr umfassende Darstellung einiger traditioneller Gebiete der numerischen Mathematik. Augenfällig sind die methodischen Qualitäten des Buches und das Bestreben, das Verständnis und die Bewertung der verschiedenen Rechenverfahren durch vielfältige und teilweise praxisrelevante Beispiele zu erleichtern. Bedauerlicherweise sind den verbal erläuterten Algorithmen keine in einer anwenderorientierten Sprache geschriebenen Programme an die Seite gestellt, was für den Nutzer numerischer Verfahren ein merkliches Hindernis bedeutet. Herauszustellen ist die relativ breite Darlegung der Interpolation mit Hilfe von Splines. Hier wird die in vielen Werken anzutreffende verwickelte theoretische Einführung ohne Substanzverlust vermieden, und dennoch enthält das betreffende Kapitel die Vorstellung so wirkungsvoller Instrumentarien wie Hermite- und Bezier-Splines. Die Begrenzung der Ausführungen auf einen Band hat neben dem bereits angedeuteten Verzicht auf Rechenprogramme dazu geführt, daß eine Reihe wichtiger Problemklassen gänzlich unberücksichtigt geblie-

ben ist. So fehlen die Verfahren zur Behandlung von Randwertaufgaben bei gewöhnlichen Differentialgleichungen und zur Lösung partieller Differentialgleichungen und somit auch das gegenwärtig immer stärker in den Vordergrund tretende Verfahren der finiten Elemente. Des weiteren bieten die Verfasser keinerlei Beiträge zu numerischen Fragestellungen der Stochastik. Trotz dieser thematischen Einschränkungen muß das Buch als bemerkenswerte Bereicherung der nicht allzu umfangreichen Literatur zur numerischen Mathematik angesehen werden. Die beispielhaft klare Darstellung der Algorithmen, die transparenten Beweise sowie die übersichtlichen Auswahlkriterien erlauben einen leichten Einstieg in die Numerik, insbesondere für Nicht-Mathematiker, und verleihen dem Werk eine besondere Eignung für das Selbststudium.

B 1790 *J. Zaremba*

Introduction to the Design and Analysis of Algorithms (in Russ.). Von *S. E. Goodman* und *S. T. Hedetniemi*. Moskau: Mir. 366 Seiten, 161 Bilder.

Die vorliegende Arbeit der amerikanischen Wissenschaftler behandelt die allgemeinen Prinzipien zur Lösung von Aufgaben auf der EDV-Anlage, insbesondere die Entwicklung und Analyse von Algorithmen. Ausführlich werden die grundlegenden Etappen der Aufgabenlösung (Aufgabenstellung, Modellbildung, Erarbeitung des Algorithmus, Überprüfung der Adäquatheit, Realisierung, Analyse der Algorithmen und ihrer Kompliziertheit, Programmüberprüfung, Dokumentation) beschrieben und an einer großen Anzahl von repräsentativen Beispielen illustriert. In dieser Hinsicht entspricht das Buch der dreibändigen Monographie von *D. E. Knuth*: „The Art of Computer Programming", wobei es jedoch den Autoren dieser Arbeit gelingt, das umfangreiche Material mit einer gut durchdachten Methodik und in lebendiger Form für den Anfänger verständlich darzustellen und trotzdem sich im Umfang weitgehend zu beschränken. Hervorzuheben ist z. B. eine halbformale Beschreibung der Algorithmen, die im Rahmen standardisierter syntaktischer Konstruktionen mit ALGOL-ähnlichen Anweisungen (do-while, if-then-else) auch nichtformale umgangssprachliche Phrasen einschließt. Einige Algorithmen werden bis zu FORTRAN-Programmen entwickelt. Der methodische Apparat zur Erarbeitung und Analyse von Algorithmen bedarf der Grundlagen aus Graphentheorie, Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematischer Statistik. Sie werden an den Stellen, wo sie zur Anwendung der Algorithmen erforderlich sind, behandelt. In über 300 Übungsaufgaben mit wohldifferenziertem Schwierigkeitsgrad erhält der Leser darüber hinaus die Möglichkeit, die erworbenen Fähigkeiten zu überprüfen.

B 1800 *J. Peters*

Sensorhalbleiter und Schutzelemente. Von *O. Feustel* und *W. Schmidt*. Würzburg: Vogel-Verlag 1982. 648 Seiten, 318 Bilder, 53 Tafeln.

Der Titel des Buches spricht zwei Gebiete an, deren zunehmende Wichtigkeit außer Zweifel steht. Die rasche Entwicklung und Verbreitung mikroelektronischer Steuerungen und Regelungen führt zu einem wachsenden Bedarf an Sensoren, Bindegliedern zwischen Prozeß und Mikrorechner. Auch der Schutz gegen Überspannungen gewinnt an Bedeutung, sowohl für Geräte der Informationsverarbeitung als auch für moderne Halbleiterbauelemente leistungselektronischer Stellglieder.
Die Vielzahl vorliegender oder in Entwicklung befindlicher Arten von Sensoren und Schutzelementen wird durch die Autoren einer relativ engen thematischen Abgrenzung unterzogen. Gegenstand der Betrachtung sind Thermistoren, Fotowiderstände, Feldplatten und Varistoren. Außerdem werden edelgasgefüllte Überspannungsableiter behandelt. Auf Silizium-Sensoren wird lediglich kurz eingegangen. Mit einer Erweiterung dieses Punktes könnte den beträchtlichen technologischen Möglichkeiten dieses Werkstoffes (Planartechnologie, monolithische Integration von Sensor und Auswerteelektronik) noch besser entsprochen werden. Die große Gruppe der Sensoren und Spannungsbegrenzer mit *pn*-Übergängen ist gemäß der Zielstellung des Buches nicht enthalten.
Aus der Beschränkung auf wenige Arten ergeben sich im Zusammenhang mit dem konzipierten Umfang erweiterte Möglichkeiten der Darstellung, die von den Autoren in bester Weise genutzt werden. Zur Einführung jedes Kapitels wird das betrachtete Bauelement anderen Arten mit ähnlichem Klemmverhalten, aber unterschiedlichem Wirkprinzip gegenübergestellt, wodurch sich Einordnung und Auswahl erleichtern. Grundsätzliche Informationen zu physikalischen Aspekten, über Ausgangsmaterialien und Herstellung sowie zu Bauformen und Kennzeichnungen schließen sich an. Die Angabe von Begriffen, Definitionen und Meßverfahren erfolgt unter Berücksichtigung der einschlägigen Normen. Nach ausführlicher Darstellung der Eigenschaften des Bauelements und deren Einflußgrößen werden typische Anwendungsfälle besprochen. Zahlreiche Aufgaben (Ableitung von Dimensionierungskriterien, Berechnung von Zahlenbeispielen) sind fester Bestandteil der Darlegung. In Verbindung mit Lösungsanleitungen und anschließenden detaillierten Ausführungen ergibt sich ein didaktisch gelungenes Werk.
Die inhaltliche Klarheit und Anschaulichkeit des Buches wird durch eine hervorragende typografische Ausstattung in Zweifarbendruck ergänzt.

B 1794 *F. Fischer*

Risiko — Schnittstelle zwischen Recht und Technik. VDE-Studienreihe, Band 2. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1982. 208 Seiten.

Die gegenwärtige technische und gesellschaftliche Entwicklung belegt nachdrücklich den Rang der Schnittstelle Technik — Recht. Es ist daher sehr wertvoll nachzulesen, wie auf der VDE-VDI-Tagung von Seeheim 1982 beide Pole der Betrachtung interpretiert wurden und welche Bezüge im Vordergrund standen.
In übersichtlicher Folge und sehr prägnanter Sprache werden die technik-wissenschaftliche Risikoermittlung und -bewertung, die Risikobewältigung durch sicherheitstechnische Normen und die rechtliche Bewertung technischer Risiken an herausragenden Beispielen illustriert. Die einleitende Betrachtung wendet sich den zurückliegenden 150 Jahren Theorie und Praxis dieses Grenzgebietes zu.
Die zum Gegenstand eingenommene Position wird durch die technische und rechtliche Situation im bürgerlichen Staat bestimmt; das dialektische Verhältnis der Wechselwirkung zwischen Recht und Technik, die besondere spezifische Prägung und die dadurch in wesentlichen Punkten auch determinierte Entwicklung bleibt dadurch im Hintergrund. Das wird durch die der Technik zugeschriebene Rolle des Revolutionären gegenüber der bewahrenden Funktion des Rechts sichtbar.
Vom Risiko wird gesprochen als von einer zusammenfassenden Wahrscheinlichkeitsaussage über die bei einem technischen Vorgang oder Zustand zu erwartende Häufigkeit des Eintritts eines unerwünschten Ereignisses und den bei Ereigniseintritt zu erwartenden Schadensumfang. Das Grenzrisiko ist dann das gerade noch vertretbare anlagenspezifische Risiko des jeweiligen technischen Vorganges oder Zustandes. Diese Auffassung wird im Querschnitt durch eine Reihe technischer Gebiete, wie Bauwesen, Chemie-Produktion und Kerntechnik, verfolgt und jeweils neueste Arbeiten in ihren Ergebnissen herangezogen, diskutiert und beachtet. Zu sicherheitstechnischen Normen werden deren Erstellung und rechtliche Bedeutung im einzelnen betrachtet. Die rechtliche Bewertung technischer Risiken wird hinsichtlich der Rechtsetzung und der Rechtsanwendung verfolgt. So bietet sich ein guter informativer Überblick, der es erlaubt, die Probleme der derzeitigen Praxis und Theorie unter kapitalistischen Bedingungen kennenzulernen.
Es ist deshalb ein sehr lesenswerter Band. Der guten drucktechnischen Gestaltung stehen schlecht lesbare Details in einer Reihe von Zeichnungen gegenüber, die Literaturangaben sind z. T. sehr ausführlich und kommentiert.
Man findet keine näheren Ausführungen und Wertungen zu den Konsequenzen der Quantifizierung und der darauf aufbauenden Bewertung von Risikoentscheidungen im Rahmen deterministischer, stochastischer und probabilistischer fortgeschrittener Theorien und Konzeptionen, die im Zusammenhang mit der Nutzung der Rechentechnik es schon in relevanten Fällen erlaubt haben, die Entscheidungssituation von Grund auf zu verbessern. Man wird bei der Lektüre in der Auffassung bestärkt, daß die nach dem Unternehmensrecht praktizierte technische Realisierung von Wirkprinzipien, Verfahren und Lösungen auf dem Wege der freien Konkurrenz in der kapitalistischen Marktwirtschaft keinesfalls optimale Relationen Recht — Technik herbeiführen und nutzen kann.

B 1789 *H.-D. Klabuhn*

Methodologische Analyse der Systemtechnik (in Russ.). Von *V. G. Gorochov*. Moskau: Radio i svjaz' 1982. 158 Seiten, 14 Bilder.

Im Zusammenhang mit der steigenden Rolle der Wissenschaft als unmittelbarer Produktivkraft erhöht sich das Interesse an einer Integration von Technik, Naturwissenschaft und Gesellschaftswissenschaft, wobei der methodologischen und theoretischen Forschung ein besonderes Gewicht zukommt. Die Notwendigkeit

einer ständigen Entwicklung und Vervollkommnung der Produktion, der Integration von Wissenschaft, Technik und Produktion sowie der Verkürzung der Zeit für die Einführung neuester wissenschaftlicher Errungenschaften stimuliert die gegenwärtig starke Entwicklung der Systemtechnik (Systems Engineering), wie u. a. anhand der Publikationen nachzuweisen ist.
In diesem Zusammenhang ist es bedeutsam, den wissenschaftlichen Status der Systemtechnik und ihrer Wechselwirkungen mit anderen Wissenschaftsdisziplinen zu untersuchen. Auf diesem Gebiet mangelt es noch an Literatur, der Autor widmet sich der Analyse und Ordnung der konkreten methodologischen Grundlagen der Systemtechnik.
Nach der Begriffsbestimmung wird der Anwendung der Systemtheorie und des Systembegriffs in der Ingenieurtätigkeit großer Platz eingeräumt, auf ihrer Grundlage gelingt es dem Autor, Etappen und Phasen der Systemtechnik zu analysieren. Die Systemtechnik stellt eine komplexe wissenschaftlich-technische Disziplin dar, die eine Vielzahl von Methoden und Mitteln zur Analyse und Organisation der Ingenieurtätigkeit sowie Methoden und Annahmen zur Analyse und Projektierung von Systemen beinhaltet. Sie werden ausführlich im zweiten Kapitel behandelt. Daran anschließend untersucht der Autor die Tätigkeit der Systemtechnik, wobei insbesondere die Etappen der Systemprojektierung, die Phasen eines systemtechnischen Zyklus sowie Organisationsformen für systemtechnische Gruppen behandelt werden. Abschließend formuliert der Autor die Zukunft der Systemtechnik und Entwicklungsprinzipien der theoretischen Systemtechnik.

B 1828 *J.-A. Müller*

Internationaler MHI-Kongreß. Montage · Handhabung · Industrieroboter. 14. bis 16. April 1983 im Rahmen der Hannover-Messe '83. Hannover: Deutsche Messe- und Ausstellungs-AG 1983. 469 Seiten, zahlr. Bilder.

Der zur Hannover-Messe '83 vielbeachtete Kongreß behandelte von den konventionellen Montageprozessen über den Einsatz von Handhabungsgeräten und Industrierobotern bis zur flexiblen Automatisierung das gesamte Spektrum der angesprochenen Thematik.
Die gehaltenen Vorträge sind in diesem Sammelband enthalten. Es sind sowohl theoretische Beiträge von Vertretern von Hochschulen und Universitäten als auch praktische Einsatzbeispiele, im wesentlichen von Vertretern der Industrie.
Für den Anwender dieser Technik sind die behandelten Themengruppen kurz zusammengestellt:

- Konzeptionen moderner Montagetechnologien
- Anforderungen an flexible Automation
- Einsatzerfahrungen bei flexiblen Montagelinien
- Programmierbare Montagesysteme
- Lösungsmöglichkeiten von Zuführungseinrichtungen hoher Montageleistungen
- Flexible Großteilmontage
- Montageautomaten für elektrische Kleingeräte
- Stanzstreifen-Bestückungsmaschinen mit automatischer Zuführung
- Produktionskontroll- und Überwachungseinrichtungen
- Industrierobotereinsatz in Schmieden, für Entgraten, Montage, Farbgebung, Schweißen u. a. m.
- Vorstellung neuer Industrieroboter in firmenspezifischen Vorträgen.

Dieser Vortragsband gibt einen hervorragenden Überblick über den Stand und den Trend des Einsatzes moderner Montagetechnologien, Handhabetechnik und Industrieroboter bis zur flexiblen Automation. Er ist allen zu empfehlen, die sich mit modernen technologischen Lösungen der Produktionstechnik beschäftigen.

B 1818 *H. Fuchs*

Laser in Elektroniktechnologie und Materialbearbeitung. Von *M. Nowicki* (Übers. a. d. Poln.). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. 1982. 172 Seiten, 135 Bilder, 25 Tafeln, 45,— Mark.

Die in den letzten zwanzig Jahren entstandene Laserstrahltechnologie hat sich einen festen Platz bei der Herstellung elektronischer Bauelemente und Baugruppen sowie bei der Bearbeitung metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe erobert. Das liegt u. a. auch an der guten wissenschaftlichen Durchdringung des 1960 entdeckten Laser-Effekts, verbunden mit einer relativ störsicheren Steuerung der entsprechenden technologischen Prozesse bei hoher Energiedichte im Mikrometerbereich.
Der Autor hat als Wissenschaftler an der Technischen Hochschule Warschau die Entwicklung der Laserstrahltechnologie von Anfang an aktiv verfolgt und gibt in der Monographie (überarbeitete und erweiterte deutsche Fassung der 1978 erschienenen polnischen Ausgabe) einen nahezu umfassenden, auf die praktische Anwendung orientierten Überblick.
In der ersten Hälfte des Buches werden in 3 Kapiteln die physikalischen Grundlagen in einer sehr einfachen Form behandelt: Parameter und Aufbau von Lasern für die Bauelementeherstellung und Materialbearbeitung; das Problem der Fokussierung des Laserstrahls und die infolge der Absorption von Laserstrahlen im Werkstoff hervorgerufenen Wirkungen. Dabei wird in nichttransparente und transparente Werkstoffe und in Halbleiter unterschieden. Die dargelegten Zusammenhänge in Form von mathematischen Gleichungen, Diagrammen und Tabellen sowie die Kennwerte wurden sämtlich unter technologischen Aspekten aus der Literatur ausgewählt und interpretiert. Das betrifft hauptsächlich Aufheizen, Schmelzen und Verdampfen.
Das 4. Kapitel (Überblick über die technologische Nutzung von Lasern) nimmt die zweite Hälfte des Buches ein und behandelt im ersten Teil Anwendungen aus der Elektroniktechnologie. Sehr ausführlich geht der Autor auf den Abgleich von Widerständen in Dick- und Dünnschichttechnologie ein. Daran schließen sich an: Ritzen (Kerben) von Silizium-Wafern und Keramiksubstraten mittels Laser; Herstellung und Reparatur von Masken für integrierte Schaltkreise; Erwärmen, Schmelzen, und Aufdampfen in der Halbleitertechnologie sowie das Abisolieren elektrischer Leiter. Der zweite Teil des Kapitels widmet sich den Laserstrahlverfahren zur Materialbearbeitung, wie Bohren von Löchern und Schneiden von Konturen in Keramik, Glas, Quarz, Plaste, Gummi, Leder, Metalle, Silizium, Diamant u. a.; Punktschweißen zur Herstellung von elektrischen Verbindungen und von Thermoelementen; kontinuierliches Laserstrahlschweißen von Metallen, von Gehäusen für elektronische Bauelemente sowie von Plastfolien; Härten mittels Laser und das Umschmelzen von Oberflächen.
Das Buch schließt mit mehr als 200 einschlägigen Literaturangaben ab. Sämtliche Anwendungsgebiete werden anhand zahlreicher konkreter Ergebnisse mit Angaben des Lasertyps, der technologischen Bedingungen und der erreichten Parameter dargelegt und durch Fotos belegt. Insgesamt liegt damit ein lesenswertes Buch vor, das nicht nur zum Bestand von Ingenieuren und Technikern der Elektronik und Feinwerktechnik zählen wird.

B 1861 *W. Sauer*

Time-Scale Modelling of Dynamic Networks with Applications to Power Systems. Von *J. H. Chow.* Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1982. 218 Seiten, 58 Bilder.

Das Buch befaßt sich mit der Reduktion der Ordnung von Modellen für Systeme mit Netzwerkstruktur und konzentrierten Parametern, z. B. Energieversorgungssystemen. Dazu wird das System in Teilsysteme zerlegt, auch wenn die Struktur dies nicht nahelegt. Für die Zerlegung dient ein heuristischer Weg, der die Verkopplung der Variablen (bzw. Zustandsgrößen) betrachtet. Enge (harte) Kopplungen bewirken kleine dynamische Beruhigungszeiten, lose (weiche) dagegen große. Durch Klassifikation dieser Zeiten (time-scale) kann das Gesamtsystem zerlegt werden, und langsame und schnelle Signalbewegungen können (näherungsweise) für sich betrachtet werden. Eine theoretische Begründung bekommt dieses Verfahren durch die Störungsrechnung (singular perturbation method), die im Kapitel 2 erklärt und im Kapitel 3 auf einfache Beispiele angewendet wird. Kapitel 4 zeigt die Aggregationsmethode, wobei jedem der geschaffenen Gebiete Ersatzparameter und innere bzw. äußere Verkopplungen zugeordnet werden. Das Verfahren ist hergeleitet von Energieversorgungssystemen mit synchron arbeitenden Generatoren und betrachtet die Eigenvektoren des Systems. Als Beispiel wird die rechnerische Trennung eines Netzes von 48 Kraftwerken im NO der USA in 9 lokale Bereiche gezeigt. Die Auswahl geeigneter Eigenvektoren, die eine zweckmäßige Aggregation gewährleisten, behandelt Kapitel 6. Nichtlinearitäten in den Netzwerken werden im Kapitel 7 betrachtet, wobei allerdings eine Bemerkung fehlt, auf welche Nichtlinearitäten das Verfahren anwendbar ist; zur Abschätzung bedient man sich der Linearität.
Das Buch ist trotz des komplizierten Zusammenhanges recht übersichtlich. Konsequenter Aufbau, ausführliche Darlegung der Grundgedanken mit dem physikalischen Hintergrund, zahlreiche eingestreute Zahlenbeispiele und die Veröffentlichung von Ergebnissen der Analyse größerer Systeme kommen dem Verständnis entgegen. Für manche Leser könnte die Übersetzung der Termini Schwierigkeiten bereiten.

B 1819 *K. Göldner*

Einführung in die Optische Nachrichtentechnik. Von *R. Th. Kersten.* Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1983. 462 Seiten, 206 Bilder.

In weniger als 2 Jahrzehnten hat sich die optische Nachrichtentechnik vom Experiment zum Einsatz kompletter Systeme in allen Ebenen von Fernmeldenetzen entwickelt. Das Buch führt in die physikalischen Grundlagen dieses die Zukunft der Nachrichtentechnik bestimmenden Gebietes ein.
Nach einer Zusammenfassung der wichtigsten optischen Grundgesetze wird den Lichtwellenleitern besonders breiter Raum gegeben. Die theoretisch anspruchsvolle Darstellung der wellenoptischen Zusammenhänge in Mono- und Multimodenlichtwellen ist durch viele phänomenologische Erläuterungen, Bilder und Diagramme von hoher Anschaulichkeit illustriert. So wird ausführlich das Phasenraumdiagramm erläutert und zur Berechnung von Lichtleiterkopplungen angewendet. Die Lichtleitertheorie wird durch einen Abschnitt über Lichtleitermeßtechnik sinnvoll ergänzt. Dem Praktiker werden wertvolle Hinweise zur Untersuchung von Brechzahlprofilen, der Dämpfung und der Übertragungsbandbreite gegeben. Bei der Behandlung der optoelektronischen Sende- und Empfangsbauelemente wird besonderer Wert auf eine anschauliche Darstellung der physikalischen Wirkprinzipien gelegt. Eine Vielzahl von Ausführungsformen von Lumineszenz-, Laser- und Fotodioden werden mit ihren technischen Besonderheiten dargestellt und ihr zweckmäßiger Einsatz in Übertragungssystemen diskutiert. Auch bei den Bauelementen führt die Behandlung von meßtechnischen Problemen zu einem erweiterten Verständnis der Zusammenhänge. Kurze Abschnitte über die Analog- und Digitalmodulation von Sendern und über die Grundlagen der Dimensionierung rauscharmer Empfänger leiten zur Darstellung von Übertragungssystemen über. Um den gesetzten Rahmen des Buches nicht zu sprengen, hat sich der Autor hier auf besonders zukunftsträchtige Details, wie Wellenlängenmultiplex, Datenbussysteme und Heterodynempfang, beschränkt. Ein Literaturverzeichnis mit 68 Monographien und 728 Literaturstellen schließt das Buch ab.
Das Buch führt methodisch und pädagogisch sehr geschickt in die doch recht komplizierten Zusammenhänge bei der optischen Nachrichtentechnik ein. Besonders gut ist die Verbindung von theoretischen Aussagen mit praktischen Anwendungen an Beispielen der Meßtechnik gelungen.

B 1808 *E. Kube*

Analysis of Periodically Time-Varying Systems. Von *J. A. Richards.* Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1983. 173 Seiten, 37 Bilder.

Bei Systemen mit periodisch veränderlichen Koeffizienten interessiert die Tatsache, daß periodische Eingangssignale mit geeigneten Frequenzen resonanzähnliche Erscheinungen hervorrufen können. Die Zusammenhänge sind recht kompliziert, und bisweilen können kleine Änderungen der Systemparameter radikale Umschläge im Verhalten hervorrufen. Sicher kann man komplizierte Systeme nur durch Simulation untersuchen — aber, um grundsätzliche Eigenschaften zu studieren, muß das Verhalten von Systemen mit relativ einfachen Gleichungen gründlich betrachtet werden.
Diese Aufgaben haben sich die Autoren des Buches gestellt, das wegen seiner Ausführlichkeit als Lehrbuch anzusehen ist.
Nach einer Einleitung über historische Anwendungsfälle wird im 2. und 3. Abschnitt die Hillsche Differentialgleichung betrachtet und für die 2. Ordnung gelöst. Der 4. Abschnitt ist Stabilitätsfragen gewidmet und zeigt die Kompliziertheit der Zusammenhänge. Im 5. Abschnitt wird kurz auf die digitale Simulation eingegangen. 6. Abschnitt: Mathieu-Gleichung (2. Ordnung). Praktische Anwendungen sind im 7. Abschnitt genannt (etwa 30% des Buches): Massenspektrometer, Durchbiegung mechanischer Strukturen bei periodischen Kräften, elliptische Wellenleiter, Wellenfortpflanzung in periodisch aufgebauten Medien, einfache elektrische Stromkreise mit periodisch verändertem Kondensator, Netzwerke mit parallelen Signalwegen. Regelungstechnische Probleme werden nicht erörtert, obgleich z. B. die Bahnsteuerung von Robotern möglicherweise die Probleme aktuell machen könnte. Das Buch stellt naturgemäß beträchtliche Ansprüche an den Leser, aber es faßt zusammen, was bisher in der Literatur recht zerstreut war; dies zeigen auch die umfangreichen Literaturangaben. 62 Übungsaufgaben (ohne Lösungen) dienen der Festigung von Kenntnissen.

B 1820 *K. Göldner*

Integrierte MOS-Schaltungen. Von *H. Weiß* und *K. Horninger* (Halbleiter-Elektronik, Herausgeber: *W. Heywang* und *R. Müller,* Band 14). Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1982. 344 Seiten, 181 Bilder.

Der Band 14 der Buchreihe „Halbleiter-Elektronik" folgt früheren Bänden, in denen Grundlagen, die Halbleiter-Technologie, Einzelhalbleiter und integrierte Bipolarschaltungen behandelt wurden. Jeder Band dieser nach dem Baukastenprinzip konzipierten Reihe ist auch einzeln lesbar.
Das Buch gliedert sich in Hauptkapitel mit den Themen MOS-Bauelemente, MOS-Techniken, MOS-Grundschaltungen, Entwurfstechnik und Schaltungsarten. Besonders ausführlich werden Logikschaltungen, bistabile Schaltungen, Schieberegister, Speicherschaltungen und Analogschaltungen in MOS-Technik behandelt. Bei den Schaltungsarten werden die Unterschiede zwischen festverdrahteten, programmierbaren und programmgesteuerten Schaltungen herausgearbeitet und Wege zu einem prüffreundlichen Entwurf erläutert. Ausführungen zur Analyse integrierter Schaltkreise mit dem Elektronenstrahl und ein Ausblick auf die weitere Entwicklung runden den Band ab.
Der gut verständliche Text wird durch zahlreiche Diagramme, Oszillogramme, Schaltbilder und Schnittdarstellungen sowie Gleichungen ergänzt. Logikglieder werden leider noch durch die veralteten Halbkreissymbole dargestellt. Jedem Kapitel sind aktuelle Literaturangaben nachgestellt.
Das Buch wendet sich an Technologen und Schaltungsingenieure, aber auch an alle, die sich in das Gebiet der integrierten MOS-Schaltungen einarbeiten wollen. Es verkörpert den neueren Stand der Technik und Technologie.
Die Autoren vermitteln dem Leser neben den Grundlagen eine Fülle von Zusammenhängen, Fakten und technologischen Erfahrungen.

B 1817 *H. Gottschalk*

Das Oszilloskop — Funktion und Anwendung —. Von *K. Lipinski.* Berlin: VDE-Verlag GmbH 1983. 242 Seiten, über 250 Bilder.

Der knapp 10 Jahre alten Konzeption, ein Buch für den Benutzer von Oszilloskopen zu schaffen, wird auch die 3. Auflage, die wiederum gründlich überarbeitet und aktualisiert worden ist, vollauf gerecht. Die Anwendung der Oszilloskoptechnik, die der Autor mit Recht als die „universellste aller Meßtechniken" bezeichnet, steht im Mittelpunkt der Darstellung. Das wird nicht nur durch das knapp 40 Seiten umfassende letzte Kapitel „Oszilloskopische Messungen und Anwendungsbeispiele" dokumentiert, sondern auch dadurch, daß bei der Beschreibung von Baugruppen und ihren Funktionen stets zahlreiche Beispiele dafür gebracht werden, wie diese Funktionen in der praktischen Meßtechnik genutzt werden können. Entsprechend der Zielstellung des Buches wird auf theoretische Zusammenhänge nur dort eingegangen, wo sie den Nutzer eines Oszilloskops befähigen, dieses Meßmittel sachgemäß zu nutzen und die erreichbaren Genauigkeiten abzuschätzen.
Auf weitergehende Ableitungen wird zugunsten der leichten Verständlichkeit verzichtet.
Die anwendungsorientierte Darstellung wird auch unterstrichen durch die anschaulichen Abbildungen und die ausgezeichneten fotografischen Wiedergaben von Oszillogrammen.
Im Interesse einer Vermeidung unnötigen Ballastes hält sich der Autor nirgendwo mit mehr oder weniger „klassischen" Lösungen auf, sondern orientiert konsequent auf den modernsten Stand der Technik. Damit wird natürlich die Themenabgrenzung gegenüber der Systemtechnik (z. B. Logikanalysatoren, rechnende Oszilloskope) schwierig; der Autor betrachtet alle Geräte als zu seiner Thematik gehörig, die mit manueller Einstellung der Bedienfunktionen und oszilloskopischer Ausgabe arbeiten. Damit sind viele Spezialoszilloskope einbezogen, die in einem ausführlichen Kapitel beschrieben sind. Hier werden unter anderem Speicheroszilloskope, Transienten-Rekorder, Logikanalysatoren, Sampling oszilloskope, Spektrumanalysatoren und Kennlinienschreiber behandelt. Allerdings beziehen sich die angegebenen Gerätebeispiele auf Typen, die in der DDR üblicherweise nicht zur Verfügung stehen.
Insgesamt ist dieses Buch mit seiner gedrängten aber trotzdem gut verständlichen Darstellung eine sehr nützliche Zusammenfassung der Möglichkeiten, die die moderne Oszilloskopie bietet, so daß es für Oszilloskopanwender in den unterschiedlichsten Bereichen ebenso wie für Lernende seinen Zweck vollauf erfüllt.

B 1824 *H. Hart*

15. Herbstkurse „Technische Kybernetik"

Die jährlich von der Kooperationsgemeinschaft „Technische Kybernetik" veranstalteten Herbstkurse „Technische Kybernetik" werden diesmal vom 22. bis 26. Oktober 1984 in Magdeburg durchgeführt.
Es sind vier Sektionen mit folgendem Inhalt vorgesehen:

- Entwurf von Basisregelungen für multivariable (Groß-) Systeme
  Referent: Prof. Dr. sc. techn. *U. Korn*, TH Magdeburg
- Ausgewählte Methoden der Echtzeitidentifikation
  Referenten: Doz. Dr. sc. techn. *Chr. Döschner*, TH Magdeburg
  Doz. Dr. sc. techn. *H. Buchta*, TU Dresden
- Verhaltensbeschreibung und Dimensionierung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen
  Referent: Prof. Dr. sc. techn. *P. Neumann*, TH Magdeburg
- Ablauf und Probleme der Einsatzvorbereitung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen, dargestellt an zwei realisierten Importanlagen
  Referenten: Dr.-Ing. *G. Müller*, TH Magdeburg
  Dr.-Ing. *H. Frank*, GRW Teltow
  Doz. Dr.-Ing. *G. Reinig*, TU Dresden

Anforderungen der Einladung mit den Formularen für die Teilnahmemeldung und die Quartierbestellung sind zu richten an:
Technische Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik „15. Herbstkurse", Dr.-Ing. *H. Bode*, 3010 Magdeburg, PSF 124.

2nd International Symposium on Systems Analysis and Simulation

Vom 26. bis 31. August 1985 findet in Berlin die o. g. Konferenz statt, veranstaltet von der Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, in Verbindung mit IMACS (International Association for Mathematics and Computers in Simulation), IFAC (International Federation of Automatic Control), WGMA und der Mathematischen Gesellschaft der DDR.
Ziel des Symposiums ist die Diskussion der jüngsten Fortschritte in Systemanalyse, mathematischer Modellierung und Simulationstechniken von komplexen, insbesondere nichttechnischen Systemen.
Beiträge zu folgenden und verwandten Themen sind erwünscht:

M Methoden und Grundlagen

- Systemanalyse und Systemtheorie
- Modellierung
- Große Systeme
- Rechnergestützte Entscheidungsfindung
- Optimierung und Steuerung
- Identifikation und Adaption

S Simulationstechniken

- Digitale (und hybride) Methoden
- Numerische und statistische Methoden
- Simulationssprachen
- Anwendung von Multiprozessorsystemen

A Anwendungen

Simulations- und Entscheidungsfindungsalgorithmen für
- ökologische und Umweltsysteme
- ökonomische Systeme
- globale und regionale Modellierung
- Wassersysteme
- Energiesysteme
- Verkehrssysteme
- technische Systeme.

Übersichtsvorträge zu den Schwerpunkten des Symposiums werden von international anerkannten Wissenschaftlern gehalten.
Offizielle Konferenzsprachen sind Englisch, Russisch und Deutsch. Langfassungen der Beiträge sollten in Englisch sein.

Vortragsmeldungen (Kurzfassungen, 1 bis 2 Seiten) bis 15. August 1984.
Konferenzgebühr: 350,— M.

Nähere Auskünfte erteilt das Organisationskomitee „2nd International Symposium on Systems Analysis and Simulation", Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR, DDR-1086 Berlin, Kurstraße 33, PSF 1298, Telefon: 2072365, Telex: 114536 zki dd.

Fachtagung „Rationelle Energieanwendung durch Regelung von Heizungsanlagen — Erkenntnisstand 1984

Am 19. Juni 1984 findet in Dresden die o. g. Fachtagung statt. Veranstalter sind:
Arbeitsausschuß Steuerungs- und Regelungstechnik und Bezirksfachsektion Elektrotechnik/Elektronik der KDT, Dresden, sowie der Fachausschuß 14 „Steuerungs- und Regelungstechnik der KDT, Berlin.
Als Teilnehmer kommen Leitungskader, Projektierungs- und Instandsetzungsingenieure der BMSR-Technik, Energetiker sowie Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechniker in Frage.
Auskünfte erteilt: KDT, Bezirksvorstand Dresden, 8020 Dresden, Basteistr. 5, Telefon 2326210, App. 32.

VII. Wissenschaftlich-technische Konferenz „Schalten und Stellen von Stoffströmen und elektrischen Leistungen"

In der Zeit vom 31. Oktober bis 1. November 1984 findet in Berlin, Kongreßhalle, die obige Tagung mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern statt.
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der Kammer der Technik in Zusammenarbeit mit dem Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin.
Schwerpunkte sind neue gerätetechnische Lösungen und theoretische Forschungsergebnisse mit Anwendererfahrungen auf diesem Fachgebiet. Dabei werden insbesondere neue Ergebnisse zu Niederspannungsschaltgeräten dargestellt sowie Forderungen und Trends für zukünftige Entwicklungen abgeleitet.
Teilnahmemeldungen richten Sie bitte schriftlich an folgende Adresse:

Kammer der Technik
— Präsidium — WGMA
1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115—117.

Das Tagungsprogramm wird Ihnen nach Drucklegung zugestellt.

11. Internationales Symposium "Photon-Detectors"

Vom 11. bis 13. September 1984 findet in Weimar das 11. Internationale Symposium „Photon-Detectors" des IMECO-TC 2 Photon Detectors statt.
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der Kammer der Technik, Humboldt-Universität zu Berlin, Sektion Physik.
Inhaltliche Schwerpunkte:

- Messung individueller Lichtimpulse und Meßmethoden unter Anwendung von schnellen Breitbanddetektoren
- Integrierte Strahlungsempfänger (Zeilen und Matrizenanordnungen)
- Metrologische Anwendung von Strahlungsempfängern
- Medizinische Anwendung von Strahlungsempfängern
- Industrielle Anwendung von Strahlungsempfängern
- Optische Sensoren für Industrieroboter.

Die Tagungssprache ist Englisch.
Teilnahmemeldungen richten Sie bitte schriftlich an folgende Adresse:

Organisationskomitee „Photon Detectors 84"
Humboldt-Universität zu Berlin,
Sektion Physik 03
Prof. Dr. *K. Herrmann*
DDR-1040 Berlin, Hessische Str. 3.

Das Tagungsprogramm wird Ihnen nach Drucklegung zugestellt.

III. Fachtagung „Erfahrungen und Ergebnisse beim Einsatz von Prozeß- und Mikroprozeßrechnern in der chemischen und artverwandten Industrie“

Der Fachausschuß „Prozeßrechentechnik in der chemischen Industrie“ der WS Automatisierungstechnik im FV Chemische Technik führt am 7. und 8. November 1984 gemeinsam mit der TH „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg aufgrund des großen Erfolges der vergangenen Veranstaltungen (1976, 1980) seine III. Fachtagung unter obigem Motto durch.
Teilnahmemeldungen inkl. Übernachtungsanforderungen sind an Dr. *Kirsch*, ORZ der TH „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg, 4200 Merseburg, Otto-Nuschke-Straße, Tel. Merseburg 462921, zu richten.
Die Teilnahmegebühr beträgt 40,— M.

4. Fachtagung „Applikation Mikroelektronik — Stand und Tendenzen“

Am 18. und 19. Oktober 1984 wird in Dresden die 4. Fachtagung „Applikation Mikroelektronik — Stand und Tendenzen“ mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern durchgeführt.
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik in Verbindung mit Betrieben des VEB Kombinat Mikroelektronik.
Inhaltliche Schwerpunkte:

- Applikation moderner aktiver und passiver diskreter und integrierter elektronischer Bauelemente
- Rationalisierung und Automatisierung durch Einsatz der Mikroelektronik in der Produktionsvorbereitung und Produktion
- Rationalisierung der Arbeit durch multivalente Nutzung von Mikrorechnersystemen und Software-Lösungen
- Erhöhung der Material- und Energieökonomie durch Einsatz der Mikroelektronik
- Einsatz der Mikroelektronik in neuen Erzeugnissen der industriellen, nichtindustriellen und Konsumgüter-Elektronik
- Durchführung einer Poster-Diskussion zu verallgemeinerungswürdigen Anwendungsbeispielen der Mikroelektronik mit dem Ziel, den Informations- und Erfahrungsaustausch zu mikroelektronischen Detail-Lösungen zu organisieren
- Podiumsdiskussion zur Einsatzvorbereitung der Mikroelektronik in Klein- und Mittelbetrieben.

Vortragsmeldungen mit Angabe des Themas und max. 10 Zeilen zum Vortragsinhalt sind umgehend an den FV Elektrotechnik zu richten.
Teilnahmemeldungen richten Sie bitte schriftlich an folgende Adresse:
Kammer der Technik
Präsidium
Fachverband Elektrotechnik
1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115—117
Das Tagungsprogramm wird Ihnen nach Drucklegung zugestellt.

3. Tagung Elektronik-Technologie

Vom 1. bis 3. April 1985 findet in Berlin die 3. Tagung „Elektronik-Technologie“ mit internationaler Beteiligung anläßlich des 175jährigen Universitätsjubiläums und des 15jährigen Bestehens der Sektion Elektronik der Humboldt-Universität zu Berlin statt.
Die Arbeitsthemen der geplanten 4 Vortragsreihen sind:

1. Technologie mikro- und optoelektronischer Systemelemente
   - Grund- und Hilfswerkstoffe
   - Kristallzüchtung
   - Dotierung
   - Schichterzeugung und Strukturierung
   - Montage
   - Zuverlässigkeit
   - Prozeßgestaltung
2. Prozeßautomatisierung
   - Informationsverarbeitung und Steuerung für Industrieroboter
   - Mikroprozessorregler
   - Programmierbare Steuereinrichtungen
   - Einsatz der Optoelektronik in der Automatisierungstechnik
   - Prozeßanalyse und Simulation
   - Bildverarbeitungssysteme für Industrieroboter
   - Lokale Rechner-Netze für die Automatisierungs- und Rechentechnik
3. Optoelektronik und Meßtechnik
   - Verbesserung herkömmlicher Meßverfahren durch Einsatz der Optoelektronik
   - Meßfühler für nichtoptische Größen mit optischen Ausgangssignalen
   - Lichtempfindliche Sensoren
   - Meßwertverarbeitungsprobleme beim Einsatz von Optosensoren und bei optischen Messungen
   - Messungen an Lichtleitern und optoelektronischen Bauelementen
4. Bauelemente und Systeme der optischen Nachrichtenübertragung
   - Diskrete optische Bauelemente
   - Diskrete und integrierte optoelektronische Sende- und Empfangsbauelemente
   - Lichtleiter und Lichtleiterkabel
   - Baugruppen von Lichtleiter-Übertragungssystemen
   - Lichtleitereinsatz im Nachrichtennetz

Als Thema für ein Rundtischgespräch ist vorgesehen: „Wissenschaftlich-technischer Fortschritt und Diplomlehrer-Ausbildung an der Sektion Elektronik“. Auskünfte erteilt Dr. *Härtig*, Mitarbeiter des Organisationskomitees.

Anschrift:
Humboldt-Universität zu Berlin
Sektion Elektronik
Organisationskomitee 3. TET
1136 Berlin, Hans-Loch-Str. 349,
Telefon 5252865

Universalmeßflügel zur Überwachnng von Gewässern

Ein hydrometrischer Universalmeßflügel für die mengenmäßige Überwachung der Gewässer wurde im VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft Halle entwickelt. Mit dem Gerät können Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 3 mm/s bis 3 m/s in den Gewässern erfaßt werden. Bei Erprobung unter Feldbedingungen über dem Zeitraum eines Jahres hat sich das Gerät gut bewährt. Der Universalmeßflügel mit seinem Zubehör gestattet hydrometrische Messungen in fließenden Gewässern mit großer Meßgenauigkeit unter universellen Bedingungen. Für das Zählwerk werden handelsübliche mikroelektronische Bauteile verwendet. Die am Meßflügel angebrachten Schaufeln sind aus Polystyrol und verfügen über hohe Formgenauigkeit. Sie sind gegenüber mechanischen und chemischen Einflüssen beständig. (ADN-WT 1596-7a)

Mikroelektronik steuert Buchbindemaschine

Im VEB Polygraph Buchbindereimaschinenwerke Leipzig werden Siegelfalzautomaten gefertigt, mit denen je Stunde bis zu 15000 Bogen für die Buch- und Broschürenherstellung verarbeitet werden können. Dieses mikroelektronisch gesteuerte Maschinensystem wurde im Stammbetrieb des Kombinats Polygraph in Leipzig entwickelt.
Die Bogen werden mit einem Spezialfaden geklammert, wobei je Sekunde bis zu 40 Stück der 12 mm langen Fadenklammern in das Papier eingestochen und gesiegelt werden. Die Fließstrecke, die aus einem Beschickungsautomaten, einem Falzbogenleger und einem Siegelfalzautomaten besteht, ist das Allerneueste des Kombinats für eine noch breitere internationale Anwendung der von den Leipziger Buchbindereimaschinenwerken vor einem Jahrzehnt entwickelten Fadensiegeltechnologie.
(ADN-WT 1588-1a)

2 Roboter arbeiten Hand in Hand

Die komplexen Bewegungen eines Menschen am Fließband können 2 Roboter der japanischen Firma Toshiba nachvollziehen. Ein derartiges System wird z. B. bei der Verdrahtung von Gebläsebodengehäusen angewendet. Einer der beiden Roboter ist mit einer Kamera ausgerüstet, um die Position in dem Gebläsegrundgehäuse zu ermitteln, an das ein Kabel befestigt werden soll. Daraufhin nimmt er das Kabel auf und hält es an den gefundenen Lötpunkt. Der andere Roboter führt die Lötarbeiten aus.
Etwa 10 Mikrocomputer werden zur Steuerung des Systems benötigt. Durch Umprogrammieren und Wechseln von Greifern und Werkzeugen kann das System für unterschiedlichste Montagearbeiten verwendet werden.
(ADN-WT 1585-15b)

KURZFASSUNGEN

Werner, G.-W.; Werner, R.:

Untersuchungen von Instandhaltungsaufwendungen für Automatisierungseinrichtungen — wichtige Voraussetzung zur weiteren Gestaltung der Instandhaltungsleistungen

msr, Berlin 27 (1984) 6, S. 246—248

Mit dem weiteren Einsatz der Automatisierungstechnik als einem wichtigen Intensivierungsfaktor wächst auch die Bedeutung ihrer Instandhaltung. Die exakte Ermittlung von Instandhaltungsbedarf und -kapazität bilden die Voraussetzung für die weitere planmäßige Gestaltung der Instandhaltungstätigkeit. Es werden Kennziffern aus Untersuchungen dargestellt.

Hertel, G.:

1kanaliges Warte- und Warte/Verlust-System mit stochastisch die Bedienung unterbrechenden Kanalausfällen

msr, Berlin 27 (1984) 6, S. 249—253

Bei bedienungstheoretischen Aufgaben werden Ausfall- und Instandsetzungsmöglichkeit der Kanäle meist nicht beachtet, obwohl es praktisch absolut zuverlässige Bedieneinrichtungen nicht gibt. Zur intensiveren Nutzung dieser Anlagen ist die mathematische Erfassung der Störanfälligkeit und des Instandsetzungsregimes notwendig. Im Beitrag werden für das $M/M/1$- und $M/M/1/l$-Bedienungssystem mit einer für Transportprozesse wichtigen Störungsart — Unterbrechungen der Bedienung durch Kanalausfälle — relativ einfache Lösungen vorgestellt.

Beichelt, F.:

Prognose und Steuerung driftender Parameter

msr, Berlin 27 (1984) 6, S. 254—257

Die Zuverlässigkeit eines technischen Systems ist durch einen systemspezifischen Parameter bestimmt, dessen zufällige zeitliche Entwicklung durch einen stochastischen Prozeß mit linearen Realisierungen gegeben ist. Die Lebensdauerverteilung des Systems und deren Quantile werden für ein- und zweiseitige Toleranzbereiche berechnet. Konfidenzintervalle für die Quantile werden angegeben. Eine Verallgemeinerung auf nichtlineare Parameterverläufe wird vorgenommen.

Müller, G.:

Entwicklung der Einflußfaktoren auf die technische Vorbereitung von Automatisierungsanlagen — eine historische Übersicht

msr, Berlin 27 (1984) 6, S. 257—262

Es werden Einflußfaktoren auf die technische Vorbereitung von Automatisierungsanlagen und einige Aspekte der technischen Vorbereitung selbst behandelt. Wichtige Veränderungen sind dargestellt. Die Betrachtungen erfolgen aus historischer Sicht der letzten vier Jahrzehnte. Einige Schlußfolgerungen sind dargelegt. Die Aussagen des Übersichtsbeitrages sind weiter zu vertiefen, insbesondere hinsichtlich der in Zukunft zu erwartenden Veränderungen.

Krauß, A.:

HF-Digitalgranulatfeuchtemesser

msr, Berlin 27 (1984) 6, S. 263—265

Die meßtechnische Erfassung des Feuchtegehaltes granulierter Stoffe ist für die Beurteilung einer Vielzahl von Qualitätsparametern von volkswirtschaftlicher Bedeutung. Es wird das dielektrische Wirkprinzip benutzt, wobei der Feuchtemeßwert einer internen „Frequenzverschiebung“ entspricht. Technisch ausgeführte Meßgeräte werden erläutert und dargestellt. Außerdem werden die einzelnen Einflußgrößen bei der dielektrischen Feuchtebestimmung erläutert.

Ittner, W.; Kaatz, K.-H.:

Vorbereitung des Einsatzes einer Mikrorechner-Automatisierungsanlage für die Prozeßführung eines Großwasserwerkes

msr, Berlin 27 (1984) 6, S. 269—270

Der Beitrag berichtet über die Einsatzvorbereitung einer audatec-Kleinverbundanlage für die Prozeßführung eines Großwasserwerkes. In der ersten Realisierungsetappe wird an der komplexen Prozeßüberwachung gearbeitet. Vorgestellt werden projektspezifische technologische Schemata zur Darstellung von Prozeßmeßwerten über Farbdisplay. Die weiteren Schritte zur Realisierung der energieoptimalen automatischen Steuerung des Wasserwerkes, unter Beachtung seiner zentralen Stellung in einem komplexen Versorgungsgebiet, werden diskutiert.

Lange, F.-H.:

Zur Weiterentwicklung der Korrelationsanalyse. Teil III: Cepstrum-Methode

msr, Berlin 27 (1984) 6, S. 271—274

Die Korrelationsanalyse als Teilgebiet der Meßstochastik hat eine interessante Weiterentwicklung durch die Anwendung von homomorphen Systemen erfahren, so z. B. zur Geräusch-, Sprach- und Bildanalyse, aber auch in der Hydroakustik zur Echoanalyse im Rahmen der Meeresforschungstechnik. Derartige Systeme dienen zur Verarbeitung von multiplikativ verknüpften Signalkomponenten. Es wird eingehend die Besonderheit der als „Cepstrum-Methode“ bezeichneten Systemvariante aufgezeigt.

РЕЗЮМЕ

Werner, G.-W.; Werner, R.:

Исследования затрат на техническое обслуживание устройств автоматизации — важная предпосылка дальнейшего оформления работ технического обслуживания

msr, Berlin 27 (1984) 6, стр. 246—248

С дальнейшим применением техники автоматизации в качестве важного фактора интенсификации также и значение её восстановления. Точное определение потребности и мощности восстановления представляет собой предпосылку дальнейшего планомерного оформления деятельности восстановления. Показаны показатели на основе исследований.

Hertel, G.:

Одноканальная система ожидания и ожидания/потери с отказами каналов, стохастически прерывающими обслуживание

msr, Berlin 27 (1984) 6, стр. 249—253

При задачах в области теории обслуживания возможность отказа и восстановления каналов часто не учитывается, хотя абсолютно надежные устройства обслуживания практически не существуют. Для более интенсивного использования этих установок необходим математический сбор чувствительности к помехам и режима восстановления. В статье для системы обслуживания $M/M/1$ и $M/M/1/l$ с важным для процессов транспортировки видом повреждения — прерываний обслуживания на основе отказов каналов — представлены сравнительно простые решения.

Beichelt, F.:

Прогноз и управление дрейфовыми параметрами

msr, Berlin 27 (1984) 6, стр. 254—257

Надежность технической системы определяется параметром, специфическим для системы, случайное временное развитие которого задано стохастическим процессом с линейными реализациями. Распределение срока службы системы и его квантили рассчитываются для одно- и двухсторонних диапазонов допусков. Указаны доверительные интервалы квантилей. Проведено обобщение на нелинейные характеристики параметров.

Müller, G.:

Разработка факторов влияния на техническую подготовку устройств автоматизации — исторический обзор

msr, Berlin 27 (1984) 6, стр. 257—262

Рассмотрены факторы влияния на техническую подготовку устройств автоматизации и ряд аспектов самой технической подготовки. Изображены важные изменения. Соображения сделаны из исторического вида последних четырех десятилетий. Показаны некоторые выводы. Высказывания обзора необходимо дальше углубить, в частности относительно ожидаемых в будущем озменений.

Krauß, A.:

Высокочастотный цифровой влагомер гранулы

msr, Berlin 27 (1984) 6, стр. 263—265

Измерительнотехнический сбор содержания влаги гранулированных веществ имеет народнохозяйственное значение для оценки множества параметров качества. Применен диэлектрический принцип, при котором значение измерения влаги соответствует внутреннему „сдвигу частоты“. Пояснены и показаны технически исполненные измерительные приборы. Кроме того, пояснены отдельные влияющие величины при диэлектрическом определении влаги.

Ittner, W.; Kaatz, K.-H.:

Подготовка применения микровычислительной установки автоматизации управления процессом крупной водоснабжающей станции

msr, Berlin 27 (1984) 6, стр. 269—270

В статье доложено о подготовке применения небольшой комбинированной установки АУДАТЕК для управления процессом крупной водоснабжающей станции. На первом этапе реализации работают над комплексным контролем процесса. Показаны технологические схемы, специфические для проекта, для изображения измеряемых величин процесса в цветном дисплее. Обсуждены дальнейшие шаги для реализации энергооптимального управления водоснабжающей станцией с учетом ее центрального положения в районе комплексного снабжения.

Lange, F.-H.:

О дальнейшем развитии корреляционного анализа. Часть III: метод Кепструма

msr, Berlin 27 (1984) 6, стр. 271—274

Корреляционный анализ как частная область измерительной стохастики узнал интересное дальнейшее развитие путем применения гомоморфных систем, как напр. для анализа шума, речи и изображения, но и также в области гидроакустики для анализа эхо в рамках техники морского исследования. Такие системы служат обработке мультипликативно связанных сигнальных составляющих. Тщательно показана особенность системного варианта, обозначенного как „метод Кепструма“.

SUMMARIES

Werner, G.-W.; Werner, R.:

Studies of Maintenance Expense for Automation Devices — an Important Presupposition for the Further Maintenance Service

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 246—248

Together with the further application of automation engineering as an important intensification factor the significance of the automation equipment maintenance increases. The exact determination of the maintenance demand and capacity forms the supposition for the further planning of maintenance activities. The authors present indices obtained from studies.

Hertel, G.:

Single-Channel Queueing and Queueing-Loss System with Channel Failures Stochastically Interrupting the Service

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 249—253

With queueing-theoretical problems the failure and repair possibilities of the channels are not considered in most cases although absolutely reliable operation devices don't exist in practice. For the intensified exploitation of these installations it becomes necessary to determine mathematically the sensibility to failures and the repairing mode. In this contribution for the $M/M/1$ and $M/M/1/l$ queueing system with a perturbation type important for transport processes, viz. interruptions of the operation by channel failures, the author presents relatively simple solutions.

Beichelt, F.:

Prognosis and Control of Drifting Parameters

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 254—257

The reliability of a technical system is determined by a system-specific parameter whose statistical temporal development is given by a stochastical process with linear realizations. The life duration distribution of the system and its quantiles are calculated for unilateral and bilateral tolerance regions. Confidence intervals for the quantiles are given, a generalization to nonlinear parameter progresses being carried out.

Müller, G.:

Development of Factors Influencing the Technical Preparation of Automation Systems and their Modification — a Historical Survey

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 257—262

The author deals with factors influencing the technical preparation of automation systems and with some aspects of the technical preparation itself. Important changes are presented. The considerations are based on a historical view of the last four decades. Some conclusions are given. The statements of this survey contribution are to be further deepened particularly with regard to the changes to be expected in future.

Kraus, A.:

High Frequency Digital Granules Hygrometer

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 263—265

The moisture content measurement of granulated substances has economical importance for judging a number of quality parameters. In this contribution the dielectrical principle is used, the humidity measurement value corresponding to an internal frequency shifting. Measurement devices technically realized are presented and explained. Besides, the individual influence quantities with the dielectrical humidity determination are outlined.

Ittner, W.; Kaatz, K.-H.:

Preparing the Use of a Microcomputer Automation System for the Process Control of a Large Water Supply Plant

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 269—270

The authors report on preparing the application of an AUDATEC system to the process control of a large water supply plant, the first realization step being the complex process supervision. The authors present specific technological schemes for representing process measurement values via colour display. The further steps for realizing the energy-optimal automatic control of the water plant with considering its central position in a complex supply area are discussed.

Lange, F.-H.:

On the Further Development of the Correlation Analysis. Part III: the Cepstrum Method

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 271—274

The correlation analysis as part of the measurement stochastics shows an interesting development by the use of homomorphic systems, such as for noise, speech and image analysis but also in hydroacoustics for echo analysis within the scope of oceanography. Such systems serve for processing signal components combined in a multiplicative way. The author treates in detail the particularities of a system variant called Cepstrum method.

RÉSUMÉS

Werner, G.-W.; Werner, R.:

Des études de la dépense d'entretien pour des dispositifs d'automation — une présupposition importante pour le développement ultérieur du service d'entretien

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 246—248

Avec l'emploi ultérieur de la technique d'automation comme facteur d'intensification important, l'importance de la maintenance des équipements d'automation accroît. La détermination exacte du besoin et de la capacité d'entretien représente la présupposition pour la planification ultérieure des activités de maintenance. Les auteurs donnent des indices obtenus à partir d'études.

Hertel, G.:

Des systèmes d'attente et d'attente-perte à une voie avec défaillances de voie interrompant stochastiquement le service

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 249—253

Dans des problèmes de la théorie de temps d'attente, le plus souvent on ne considère pas les possibilité de défaillance et de réparation bien qu'il n'y ait pas pratiquement des dispositifs d'opération absolument fiables. Pour l'exploitation plus intensive de ces installations, il faut saisir mathématiquement la sensibilité aux perturbations et le régime de réparation. Dans cette contribution, pour le système d'attente $M/M/1$ et $M/M/1/l$ avec un type de perturbation important pour les problèmes de transport, à savoir les interruptions du service par des défaillances de service, l'auteur présente des solutions relativement simples.

Beichelt, F.:

Le pronostic et la commande de paramètres dérivants

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 254—257

La fiabilité d'un système technique est déterminée par un paramètre système-spécifique dontle développement temporel statistique est donné par un processus stochastiqueà réalisations linéaires. La distribution de la durée de vie du système et ses quantiles sont calculés pour des domaines de tolérance unilatéraux et bilatéraux. Des intervalles de confiance pour les quantiles sont donnés et une généralisation à des progrès paramétriques non linéaires est exécutée.

Müller, G.:

Le développement des facteurs influençant la préparation technique de systèmes d'automation et leur modification — un aperçu historique

msr, Berlin 26 (1984) 6, pp. 257—262

L'auteur traite les facteurs influençant la préparation de systèmes d'automation et quelques aspects de al préparation technique même. Des changements importants sont présentés. Les considérations sont basées sur une vue historique des quatre dernières dizaines d'années. Quelques conclusions sont présentées. Les propositions de cette contribution d'aperçu doivent être approfondies plus particulièrement en vue des changements à expecter à l'avenir.

Krauß, A.:

L'hygromètre de granulé digital à haute fréquence

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 263—265

La mesure de la teneur en humidité de matières granulées a une importance économique pour le jugement d'un nombre de paramètres de qualité. Ici, le principe de fonctionnement diélectrique est utilisé, la valeur de mesure d'humidité correspondant à un déplacement de fréquence interne. Des appareils de mesure réalisés techniquement sont présentés et expliqués. De plus, les individuelles grandeurs d'influence dans la détermination diélectrique de l'humidité sont traitées.

Ittner, W.; Kaatz, K.-H.:

La préparation de l'emploi d'un système d'automatisation à microordinateurs pour la gestion d'une grande usine hydraulique

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 269—270

Les auteurs rapportent sur la préparation de l'application d'un système AUDATEC à la gestion de processus d'une grande usine de distribution d'eau, la première étape de réalisation étant la surveillance complexe de processur. Les auteurs présentent des schèmes technologiques spécifiques pour la représentation de valeurs de mesure de processus par écran en couleur. Les pas ultérieurs pour la réalisation de la commande automatique optimale en énergie de l'usine d'eau en tenant compte de sa position centrale dans une région complexe d'alimentation sont discutés.

Lange, F.-H.:

Sur le développement ultérieur de l'analyse de corrélation. La partie III: la méthode Cepstrum

msr, Berlin 27 (1984) 6, pp. 271—274

L'analyse corrélative comme partie de la stochastique de mesure montre un développement intéressant par l'emploi de systèmes homomorphes, par exemple pour l'analyse de bruit, de parole et d'image mais aussi dans l'hydro-acoustique pour l'analyse d'écho en cadre de l'océanographie. Tels systèmes servent pour le traitement de composantes de signal combinées d'une manière multiplicative. L'auteur traite en détail les particularités d'une variante de système appelée méthode Cepstrum.

Bestellschein



Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Fachbuchhandel bestellen.

Expl.

Fertigungsorganisation für stabile und zuverlässige Fertigungsprozesse
Von *W. Elßner*, *J. Hamann* und *W. Wisse*
1. Auflage, etwa 120 Seiten, 42 Bilder, 5 Tafeln, 3 Beilagen.
Broschur 12,— M
Bestell.-Nr.: 5526778 ....

Grundlagen der analogen Schaltungstechnik
Von *E. Balcke* und *H. Krause*
2., durchgesehene Auflage, 404 Seiten,
463 Bilder, 33 Tafeln.
Leinen 28,— M (Ausland 36,— M)
Bestell-Nr.: 5529469 ....

Metall
entwerfen, bearbeiten, gestalten
Von einem Autorenkollektiv unter der Leitung von *E. Seifert*
2., durchgesehene Auflage, 224 Seiten,
328 Bilder, 46 Tafeln.
Kunstleder 22,— M
Bestell-Nr.: 5531286 ....

Schiffe und Schiffahrt von morgen
Von *R. Schönknecht* und einem Autorenkollektiv
5., bearbeitete Auflage, etwa 240 Seiten,
183 Bilder, 13 Tafeln.
Leinen etwa 25,— M (Ausland etwa 30,— M)
Bestell-Nr.: 5531884 ....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

....
Name, Vorname

....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 tech dd
Verlagsdirektor	Dipl.-oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 2870374)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O.Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústředni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 12505 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palaţul Administrativ, Bucureşti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Előfizetési Osztály, P.O.Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Komissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. der Institution enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen . steuern . regeln 1984 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst "Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] Vyčislitel'naja matematika i programmirovanie (Numerische Mathematik und Programmierung). Mecniereba(GruzSSR). 2. Quart. 1984 NK 83–50 (64).

[2] Adaptacija v sistemach upravlenija technologičeskimi processami i proizvodstvom (Adaption in Steuerungssystemen technologischer Prozesse und der Produktion). Ilim (Kirg. SSR). 2. Quart. 1984. NK 83–51 (23).

[3] *Vasil'ev, N. I.; Klokov, Ju. A.; Škerstena, A. Ja.:* Primenenie polinomov Čebyševa v čislennom analize (Anwendung der Tschebyschew-Polynome in der numerischen Analyse). Zinatne (LatvSSR). 1. Quart. 1984. NK 83–51 (24).

[4] *Gorbunov, V. K.:* Metody redukcii neustojčivych vyčislitel'nych zadač (Methoden zur Reduktion instabiler rechentechnischer Aufgaben). Ilim (KirgSSR). 2. Quart. 1984. NK 83–51 (25).

[5] Avtomatizacija naučnych issledovanij i proektirovanie sistem (Automatisierung der Forschung und Projektierung von Systemen). Ilim(KirgSSR). 1. Quart. 1984. NK 83–51 (45).

[6] *Žukov, N. A.:* Optimizacija razvedki i razrabotki složnych mestoroždenij (Optimierung der Ermittlung und Entwicklung komplizierter Fundstätten). Ilim(Kirg. SSR). 2. Quart. 1984. NK 83–51 (51).

[7] Avtomatizacija analiza i raspoznavanija izobraženij. Vyp. 4 (Automatisierung der Analyse und Erkennung von Darstellungen. Ausg. 4). Zinatne (LatvSSR). 1. Quart. 1984. NK 83–51 (57).

[8] Vyčislitel'nye seti. Vyp. 1: Modelirovanie logičeskich komponentov vyčislitel'nych setej (Rechnernetze. Ausg. 1: Modellierung logischer Komponenten von Rechnernetzen). Zinatne (LatvSSR). 2. Quart. 1984. NK 83–51 (58).

[9] Dialogovye sistemy. Vyp. 7 (Dialogsysteme. Ausg. 7). Zinatne (LatvSSR). 1. Quart. 1984. NK 83–51 (59).

[10] Metody i sredstva preobrazovanija informacii. Vyp. 1 (Methoden und Mittel der Informationstransformation. Ausg. 1). Zinatne (LatvSSR). 2. Quart. 1984. NK 83–51 (63).

[11] *Skljarevič, A. N., Skljarevič, F. A.:* Linejnye sistemy s vozmožnymi izmenenijami (Lineare Systeme mit möglichen Änderungen). Zinatne (LatvSSR). 4. Quart. 1984. NK 83–52 (30).

[12] *Romanovskij, T. B.:* Mikrokal'kuljatory v rasčetach i zadačach (Mikrorechner in Berechnungen und Aufgaben). Zinatne (Latv. SSR). 4. Quart. 1984. NK 83 –52 (31).

[13] *Dimitriev, A. N.; Egupov, N. D.; Šaršenaliev, Ž. Š.:* Spektral'nye metody analiza, sinteza i identifikacii sistem upravlenija (Spektralmethoden zur Analyse, Synthese und Identifikation von Steuerungssystemen). Ilim (Kirg. SSR). 4. Quart. 1984. NK 83–52 (63).

[14] *Dudnikov, E. E.:* Personal'nye EVM (Personalcomputer). Nauč. Meždunar. centr. nauč. i techn. informacii 3. Quart. 1984. NK 83–52 (65).

[15] *Dudnikov, E. E.:* Sredstva proektirovanija mikroprocessornych sistem (Mittel zur Projektierung von Mikroprozessorsystemen). Nauč. centr nauč. i techn. informacii. 2. Quart. 1984. NK 83–52 (66).

[16] *Kalačev, V. N.:* Lokal'nye seti mikr-EVM (Lokale Netze von Mikrorechnern). Nauč. Meždunar. centr. nauč. i techn. informacii. 3. Quart. 1984. NK 83–52 (67).

[17] *Kramfus, I. R.:* Operacionnye sistemy real'nogo vremeni dlja mikro-EVM (Operationssysteme in Realzeit für Mikro-Rechner). Meždunar. centr. nauč. i techn. informacii. 1. Quart. 1984. NK 83–52 (68).

[18] *Rac, G.; Šarbo, Ja.:* Razrabotka programm dlja mikroprocessornych sistem na baze jazyka SDL (Entwicklung von Programmen für Mikroprozessorsysteme auf der Basis der Sprache SDL). Nauč. Meždunar. centr. nauč. i techn. informacii. 1. Quart. 1984. NK 83–52 (69).

[19] *Chrotko, G.:* Jazyk programmirovanija vysokogo urovnja dlja mikro-EVM (Programmiersprache höherer Ordnung für Mikrorechner). Nauč. Meždunar. centr. nauč. i techn. informacii. 1. Quart. 1984. NK 83–52 (70).

[20] Beskontaktnye električeskie mašiny. Vyp. 23: Matematičeskie modeli električeskich mašin (Kontaktlose elektrische Maschinen. Ausg. 23: Matematische Modelle elektrischer Maschinen). Zinatne (Latv SSR). 3. Quart. 1984. NK 83–52 (82).

[21] Metody i sredstva preobrazovanija informacii. Vyp. 2: Mikroprocessornye sredstva (Methoden und Mittel der Informationstransformation. Ausg. 2: Mikroprozessoren). Zinatne (LatvSSR). 3. Quart. 1984. NK 83–52 (91).

[22] Sovremennye problemy biomechaniki. Vyp. 2: Optimizacija biomechaničeskich dviženij (Moderne Probleme der Biomechanik. Ausg. 2: Optimierung biomechanischer Bewegungen). Zinatne(LatvSSR). 3. Quart. 1984. NK 83–52 (92).

[23] *Krylov, V. Ju.; Morozov, Ju. I.:* Kibernetičeskie modeli i psichologoija ((Kybernetische Modelle und Psychologie). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (17).

[24] *Pivovarov, S. E.:* Metodologija kompleksnogo prognozirovanija razvitija otrasli (Methodologie der komplexen Vorhersage der Entwicklung eines Zweiges). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (68).

[25] *Agaronjanc, R.:* Nelinejnye elektromagnitnye elementy sistem upravlenija (Nichtlineare elektromagnetische Elemente von Steuerungssystemen). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 1–84 (104).

[26] *Gil', M. I.:* Operatornye funkcii, differencial'nye uravnenija i dinamika sistem (Operatorfunktionen, Differentialgleichungen und Systemdynamik). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (105).

[27] *Gorskij, V. G.:* Planirovanie kinetičeskich eksperimentov (Planung kinetischer Experimente). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (106).

[28] Kibernetika živogo. Biologija i informacija (Kybernetik der Lebewesen. Biologie und Information). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (107).

[29] Kibernetika živogo. Čelovek v raznych aspektach (Kybernetik des Lebewesens. Mensch in verschiedenen Aspekten). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (108).

[30] *Nemirko, A. P.:* Cifrovaja obrabotka biologičeskich signalov (Digitale Verarbeitung biologischer Signale). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (109).

[31] Sintez upravljajuščich ustrojstv v odnorodnych sredach (Synthese der Steuereinrichtungen in homogenen Mitteln). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (110).

[32] *Bykov, V. M., Glebov, I. A.:* Naučnye osnovy analiza i prognozirovanija nadežnosti moščnych generatorov (Wissenschaftliche Grundlagen der Analyse und Prognose der Zuverlässigkeit leistungsstarker Generatoren). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 84–1 (272).

msr 8066

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 27 (1984) 6, S. 241—288